

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ

(повна назва інституту/факультету)

КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.М. Лисенко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ грудня _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва спеціальності)

на тему: Система прийняття рішень для забезпечення теплового комфорту

Виконав: студент 6 курсу, групи ДК-81МП
(шифр групи)

_____ Хапченко Олександр Вікторович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент, К.Т.Н., доцент, Яганов П.О. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет _____ електроніки _____
(повна назва)

Кафедра _____ конструювання електронно-обчислювальної апаратури _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною (освітньо-науковою) програмою

Спеціальність (спеціалізація) _____ 172 – Телекомунікації та радіотехніка _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Лисенко О.М.
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ грудня _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Хапченку Олександрові Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Система прийняття рішень для забезпечення теплового комфорту

науковий керівник дисертації _____ Яганов Петро Олексійович, к.т.н., доцент.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20 ____ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації _____ 16.12.2019

3. Об'єкт дослідження процес впливу параметрів зовнішнього середовища на тепловий комфорт

4. Предмет дослідження метод класифікації індексу PMV на основі технологій нейромереж

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Аналіз методів і моделей для реалізації системи теплового комфорту. 2. Аналіз технологій нейромереж.

3. Реалізація класифікатору теплового комфорту. 4. Розроблення стартап-проекту _____

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
Презентація у PowerPoint _____

7. Орієнтовний перелік публікацій _____
1 Публікація _____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз тематичної літератури	03.09.2019 – 15.09.2019	
2	Здійснення порівняльного аналізу методів і засобів реалізації сучасних систем «Тепловий комфорт».	16.09.2019 – 30.09.2019	
3	Вибір технології нейронних мереж для створення сучасної системи «Тепловий комфорт».	01.10.2019 – 05.10.2019	
4	Розроблення класифікатору станів теплового комфорту	06.10.2019 – 20.10.2019	
5	Програмна реалізація блоку для формування системи команд виконавчим пристроям, що забезпечують тепловий комфорт	20.10.2019 – 30.10.2019	
6	Розроблення інтерфейсу користувача	01.11.2019 – 15.11.2019	
7	Розробка стартап-проекту	16.11.2019 – 24.11.2019	
8	Оформлення дисертації	26.11.2019 – 09.12.2019	

Студент

(підпис)

Хапченко О.В.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Яганов П.О.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з 99 сторінок, в якій міститься 27 рисунків, 31 таблиць, використано 42 джерел.

Актуальність. Розуміння сутності теплового комфорту як функції багатьох змінних досліджувалось у багатьох наукових працях та запропоновано достатньо моделей, в яких було враховано фізіологічні особливості людського організму і його реакцію на зовнішні фактори, що формують відчуття теплового комфорту або дискомфорту. Для виявлення комфортних умов моделі використовують різні набори даних. Вибір моделі розрахунку і набору даних може залежати від конкретних завдань і умов застосування. Деякі моделі в силу своєї специфіки враховують тільки малу кількість параметрів, які впливають на відчуття комфорту, і їх застосування є вузьконаправленим. Найбільшого поширення через свою гнучкості та комплексності, що враховує безліч параметрів, отримала модель PMV, яка надалі і буде використовуватись. Поміж них виділяється модель середньою оцінки комфорту (PMV англ. «Predicted Mean Vote»). Головними чинниками, які формують тепловий комфорт по моделі PMV, є: температура повітря, середня радіаційна температура, швидкість повітряного потоку, вологість повітря, рівень теплоізоляції за допомогою одягу, рівень фізичної активності.

Саме вони покладені в основу об'єктивного визначення теплового комфорту, яке закріплено у міжнародному стандарті та у національних стандартах країн. Завдяки цьому створено передумови для розробки алгоритмів і команд виконавчим пристроям для автоматизованих систем життєзабезпечення з метою підтримки процесу оптимізації умов теплового комфорту.

Зв'язок роботи з науковими програмами і темами. Підготовка дисертаційної роботи пов'язана з виконанням науково-дослідної роботи (НДР) на кафедрі конструювання електронно-обчислювальної апаратури факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». А саме «Автоматизована система управління тепловим комфортом», 2019 р, номер Держреєстрації 0118U005424.

Метою роботи є розширення функціоналу автоматизованих систем управління теплого комфорту шляхом моделювання і класифікації станів на основі нейронних мереж.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні **задачі**:

- здійснити порівняльний аналіз методів і засобів реалізації сучасних систем «Тепловий комфорт»;
- проаналізувати технології нейронних мереж для створення сучасної системи «Тепловий комфорт»;
- розробити класифікатор станів теплого комфорту;
- створити програмний блок для формування системи команд виконавчим пристроям, що забезпечують тепловий комфорт, та зробити інтерфейс користувача в графічному середовищі LabVIEW.

Об'єктом дослідження є процес впливу параметрів зовнішнього середовища на тепловий комфорт.

Предметом дослідження є метод класифікації індексу PMV на основі технологій нейромереж.

Методи дослідження. Методи математичного моделювання, класифікації, кластеризації, попереднього відбору даних для навчання нейромережі.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження полягає в наступному:

- удосконалено метод обчислення індексу теплого комфорту PMV за допомогою технології нейромереж;
- здійснено алгоритмізацію обчислювального модулю індексу теплого комфорту PMV, що дозволило синтезувати на мові опису Verilog схемотехнічне рішення.

Практичне значення отриманих результатів визначається створеним алгоритмічним та програмним рішенням реалізації аналізу та контролю мікроклімату, використовуючи міжнародний стандарт ергономіки теплого середовища з використанням технології нейромереж.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дослідження було апробовано на VII Міжнародній науково-практичній конференції «Обробка сигналів і негаусівських процесів», присвяченій пам'яті професора Ю.П. Кунченка. Черкаси: ЧДТУ, 2019.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 1 друковану працю:

- Хапченко О.В. Автоматизована система підтримки теплового комфорту
// Праці VII Міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негаусівських процесів», присвяченої пам'яті професора Ю.П. Кунченка: Тези доповідей. – Черкаси: ЧДТУ, 2019. – С. 61-63.

Ключові слова: мікроклімат, індекс теплового комфорту, PMV, нейромережа.

ABSTRACT

The master's thesis consists of 99 pages, which contains 27 figures, 31 tables, 42 sources are used.

The relevant. Understanding the essence of thermal comfort as a function of many variables has been investigated in many scientific papers and enough models have been proposed that take into account the physiological features of the human body and its response to external factors that generate feelings of thermal comfort or discomfort. Different datasets are used to identify comfortable conditions. The choice of calculation model and data set may depend on specific tasks and conditions of use. Some models, due to their specificity, take into account only a small number of parameters that affect the sense of comfort, and their application is narrow-minded. The most widespread, due to its flexibility and complexity, which takes into account many parameters, is the PMV model, which will continue to be used. Among them stands out the model of the average rating of comfort (PMV English. "Predicted Mean Vote"). The main factors that form the thermal comfort of the PMV model are: air temperature, average radiation temperature, air velocity, humidity, the level of thermal insulation using clothing, and the level of physical activity.

They are the basis for the objective definition of thermal comfort, which is enshrined in international and national standards. This has created the preconditions for the development of algorithms and commands for executive devices for automated life support systems to support the process of optimizing thermal comfort.

Relationship of working with scientific programs, plans, themes. The preparation of the dissertation is connected with the implementation of research work at the Department of Design of Electronic Computing Equipment of the Faculty of Electronics of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Namely "Automated thermal comfort management system", 2018-2019, State registration number 0118U005424;

The purpose of this work is to extend the functionality of automated thermal comfort management systems by modeling and classifying states based on neural networks.

To achieve this **goal**, the following tasks were solved:

- to carry out comparative analysis of methods and means of realization of modern systems "Thermal comfort";
- analyze neural network technologies to create a modern thermal comfort system;
- develop a classifier of states of thermal comfort;
- create a software block to form a system of commands to executable devices providing thermal comfort, and make the user interface in the LabVIEW graphical environment.

The object of the study is the process of influence of environmental parameters on thermal comfort.

The subject of the study research is a method of classification of PMV index based on neural network technologies.

Research methods. Methods of mathematical modeling, classification, clustering, pre-selection of data for training neural network.

The scientific novelty of the results of the study is as follows:

- improved method for calculating the PMV thermal comfort index by computing using neural network technology;
- the calculation algorithm of the PMV thermal comfort index was made, which made it possible to synthesize in the Verilog description language a circuit design.

The practical significance of the obtained results is determined by the created algorithmic and software solutions for the implementation of analysis and control of the microclimate using the international standard of ergonomics of thermal environment using the technology of neural networks.

Approbation of the results of the dissertation. The research materials were tested at the VII International Scientific-Practical Conference «Signal Processing and Non-Gaussian Processes», dedicated to the memory of Professor Yu.P. Kunchenko. Cherkasy: CSTU, 2019.

Publications. According to the materials of the dissertation, 1 printed work is published:

- Automated system for maintaining thermal comfort // Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference "Signal Processing and Non-Gaussian Processes" dedicated to the memory of Professor Yu.P. Kunchenko: Abstracts. - Cherkasy: CSTU, 2019. - P. 61-63.

Key words: microclimate, thermal comfort index, PMV, neural network.

Зміст

Перелік умовних позначень	12
Вступ.....	13
Розділ 1. Аналіз методів і моделей для реалізації системи теплового комфорту ..	17
1.1 Моделі керування тепловим комфортом.....	17
1.2 Стандарт ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011. Ергономіка теплового середовища.....	21
1.2.1 Огляд стандарту.....	21
1.2.2 Виправлення неточності в стандарті.....	24
1.3 Обґрунтування вибору методів дослідження.....	26
1.4 Патентний пошук	28
Висновки по розділу 1.	33
Розділ 2. Аналіз технології нейромереж.....	34
2.1 Вибір архітектури нейромереж.....	34
2.2 Вибір функції активації для нейромережі	39
Висновки по розділу 2.	43
Розділ 3. Реалізація класифікатора теплового комфорту	44
3.1 Створення навчаючої вибірки для нейромережі.....	44
3.2 Навчання нейромережі	45
3.3 Програмний модуль класифікатора індексу PMV	52
3.4 Інтерфейс користувача системи «Тепловий комфорт»	55
Висновки по розділу 3.	59
Розділ 4. Розробки стартап-проекту	60
4.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології).....	60
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	62
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	63
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	71
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	73
4.6 Впровадження стартап-проекту.....	76
Висновки по розділу 4.	77
Загальні висновки.....	78
Список використаної літератури	80

Додаток А. Код створення вибірки для навчання нейромережі та заповнення її до таблиці на мові Python	85
Додаток Б. Реєстраційна картка НДР	87
Додаток В. Облікова картка НДР	89
Додаток Г. Інформаційна картка НДР.....	91
Додаток Д. Титульний аркуш з виконавцями НДР	93
Додаток Е. Копія публікації по роботі.....	95
Додаток Ж. Акт використання.....	99

Перелік умовних позначень

FPGA (англ. Field Programmable Gate Array) – вентильна матриця, що програмується користувачем

PMV (англ. Predicted Mean Vote) – прогнозована середня оцінка якості теплового середовища

PPD (англ. Predicted Percentage Dissatisfied) – прогнозований відсоток незадоволених температурою середовища

НМ – нейронна мережа

ТК – тепловий комфорт

Вступ

Актуальність. За даними різних досліджень, тепловий комфорт (ТК) має високий пріоритет в ряду найважливіших критеріїв, що підвищують рівень комфорту і задоволеності мешканців умовами середовища всередині приміщень [1].

Теплові і температурні параметри також здатні впливати на продуктивність праці людей, що знаходяться в будівлі. Можливими наслідками теплового дискомфорту є:

- відволікання уваги на сторонні речі;
- порушення спокою;
- зниження здатності до концентрації на роботі.

Розуміння сутності теплового комфорту як функції багатьох змінних досліджувалось у багатьох наукових працях та запропоновано достатньо моделей, в яких було враховано фізіологічні особливості людського організму і його реакцію на зовнішні фактори, що формують відчуття теплового комфорту або дискомфорту [2-5]. С поміж них виділяється модель середньої оцінки комфорту PMV (англ. «Predicted Mean Vote»). Головними чинниками, які формують тепловий комфорт по моделі PMV, є: температура повітря, середня радіаційна температура, швидкість повітряного потоку, вологість повітря, рівень теплоізоляції за допомогою одягу, рівень фізичної активності.

Саме вони покладені в основу об'єктивного визначення теплового комфорту, яке закріплено у міжнародному стандарті та у національних стандартах країн [6-9]. Завдяки цьому створено передумови для розробки алгоритмів і команд виконавчим пристроям для автоматизованих систем життєзабезпечення з метою підтримки процесу оптимізації умов ТК.

Знайдені апаратні системи контролю температури середовища оцінюють здебільшого лише температуру та вологість, нехтуючи такими критеріями оцінки як метаболізм та теплоізолюваність одягу людини, що є також не менш важливими параметрами. Адже коли мікроклімат підлаштовується під рослини чи

продукти, то такі данні не важливі, але для людей нехтування цими критеріями являється помилкою.

Оскільки завжди є відсоток незадоволених, треба щоб система була адаптивною і для цієї задачі підходять перспективний на сьогодні напрямок вирішення задачі, а саме за допомогою нейромережі, завдяки яким додається можливість підстроїтися під кожного користувача, а також наступний ряд переваг:

- адаптивність;
- стійкість до шумів вхідних даних;
- рішення задач при невідомій закономірності;
- відмовостійкість при апаратній реалізації нейронної мережі;
- нелінійність.

Зв'язок роботи з науковими програмами і темами. Підготовка дисертаційної роботи пов'язана з виконанням науково-дослідної роботи (НДР) на кафедрі конструювання електронно-обчислювальної апаратури факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». А саме «Автоматизована система управління тепловим комфорт», 2019 р., номер Держреєстрації 0118U005424.

Метою роботи є розширення функціоналу автоматизованих систем управління теплового комфорту шляхом моделювання і класифікації станів на основі нейронних мереж.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі **задачі:**

- здійснити порівняльний аналіз методів і засобів реалізації сучасних систем «Тепловий комфорт»;
- проаналізувати технології нейронних мереж для створення сучасної системи «Тепловий комфорт»;
- розробити класифікатор станів теплового комфорту;

- створити програмний блок для формування системи команд виконавчим пристроям, що забезпечують ТК, та зробити інтерфейс користувача в графічному середовищі LabVIEW.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані для якісного проектування мікроклімату житлових приміщень, зон роботи і відпочинку, створення належних умов праці у замкнених просторах на зразок кабін і капсул літальних, надводних і підводних апаратів у сучасних системах зі штучним інтелектом, наприклад, «Розумний дім» тощо.

Об'єктом дослідження є процес впливу параметрів зовнішнього середовища на тепловий комфорт.

Предметом дослідження є метод класифікації індексу PMV на основі технологій нейромереж.

Методи дослідження. Методи математичного моделювання, класифікації, кластеризації, попереднього відбору даних для навчання нейромережі.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження полягає в наступному:

- удосконалено метод обчислення індексу теплового комфорту PMV шляхом обчислення за допомогою технології нейромереж;
- здійснено алгоритмізацію обчислювального модулю індексу теплового комфорту PMV, що дозволило синтезувати на мові опису Verilog схемотехнічне рішення.

Практичне значення отриманих результатів визначається створеним алгоритмічним та програмним рішенням реалізації аналізу та контролю мікроклімату, використовуючи міжнародний стандарт ергономіки теплового середовища, з використанням технології нейромереж.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дослідження було апробовано на VII Міжнародній науково-практичній конференції «Обробка сигналів і негаусівських процесів», присвяченій пам'яті професора Ю.П. Кунченка. Черкаси: ЧДТУ, 2019.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 1 друковану працю:

- Хапченко О.В. Автоматизована система підтримки теплового комфорту
// Праці VII Міжнародної науково-практичної конференції «Обробка
сигналів і негаусівських процесів», присвяченої пам'яті професора Ю.П.
Кунченка: Тези доповідей. – Черкаси: ЧДТУ, 2019. – С. 61-63.

Структура дисертаційної роботи містить вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список використаної літератури та додатки: лістинг програми на мові Python, реєстраційна картка НДР № 0118U007336, інформаційна картка № 0719U006565, облікова картка № 0219U005424, копія публікації друкованої праці, акт використання результатів магістерської дисертації в ініціативній НДР № ФЕЛ-168.

Розділ 1. Аналіз методів і моделей для реалізації системи теплового комфорту

1.1 Моделі керування тепловим комфортом

Теплові умови комфортності в будівлі визначаються параметрами оточуючого середовища (температура повітря, середня радіаційна температура, відносна швидкість повітря і тиск пари в навколишньому повітрі) та людськими факторами (рівень активності й термічний опір одягу) [10]. Українськими науковцями представлена нечітка модель комфортного повітряного середовища в житловому приміщенні, на основі якої вихідні комфортні значення температури внутрішнього повітря та відносної вологості формуються із врахуванням індивідуальних характеристик людини [7].

Всі моделі управління мікрокліматом в приміщенні можна розділити на три умовні класи (рис. 1.1) [11].

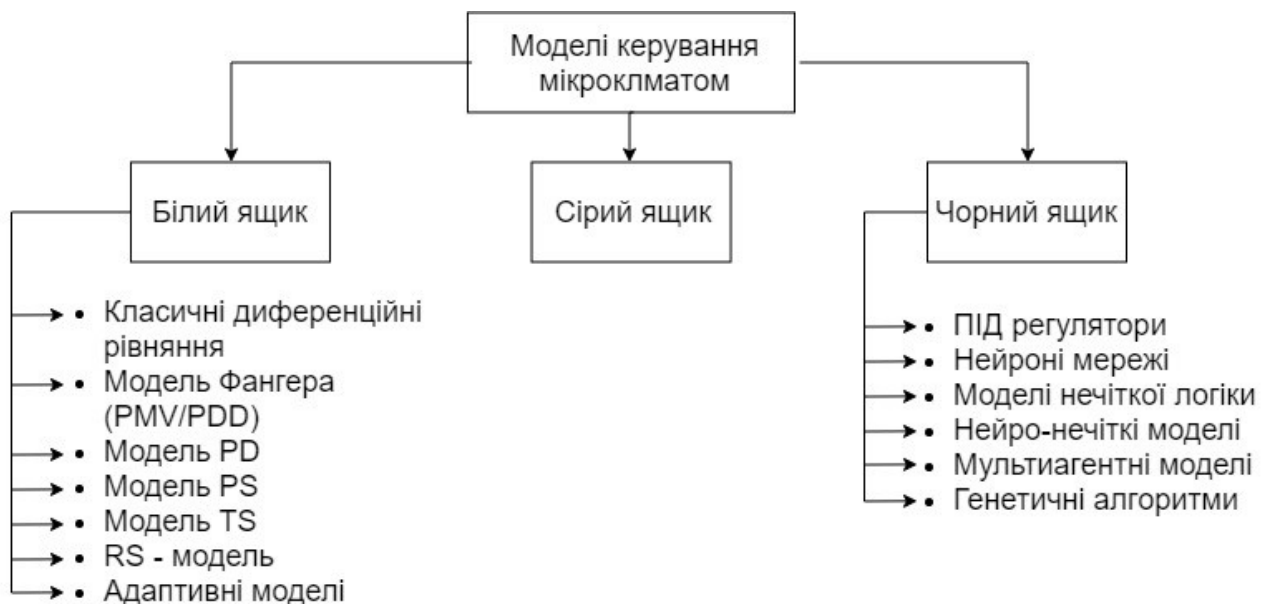


Рисунок 1.1 – Класифікація моделей керування мікрокліматом

Модель білого ящика – це модель в якій відомі всі вхідні і вихідні дані, всі зовнішні і внутрішні параметри. Складаються з декількох складних диференціальних рівнянь, в яких використані численні коефіцієнти, що

враховують геометрію будівлі, теплові властивості огорожувальних конструкцій і т.д. Всі параметри і коефіцієнти моделей відомі, вони або обчислюються, або вимірюються. Такі моделі громіздкі, вимагають великих обчислювальних ресурсів і тимчасових витрат. Інший вид моделей – враховує чутливість людини до теплових і вологих умов на основі показника комфортності (показники PMV / PDD). Нарешті, третій вид моделей заснований на електротепловій аналогії, яка обумовлена тотожністю рівняння електропровідності і рівняння теплопровідності [12,13].

Моделі чорного ящика – не використовують в явному вигляді фізичні принципи при побудові моделей. Відомі тільки вхідні і вихідні параметри моделі. Така модель є деякою апроксимацією, що спостерігаються. До таких моделей можна віднести всілякі моделі на основі нейронних мереж, моделі на основі нечіткої логіки [14,15].

Моделі сірого ящика – побудовані частково на фізичних принципах. Не всі параметри такої моделі відомі, вони не можуть бути обчислені або виміряні. По суті – це гібридні моделі, що поєднують особливості моделей першого і другого типу.

У процесі аналізу встановлено, що найбільш поширеними моделями є моделі на основі показника комфортності (PMV / PDD) і моделі на основі нечіткої логіки (рис. 1.2).

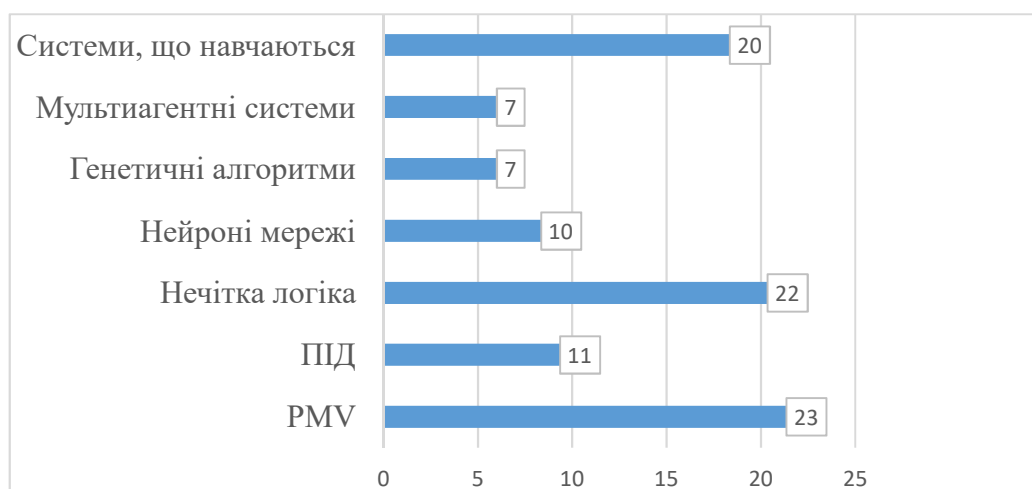


Рисунок 1.2 – Порівняння поширеності методів управління ТК

Для виявлення комфортних умов моделі використовують різні набори даних. Вибір моделі розрахунку і набору даних може залежати від конкретних завдань і умов застосування. У таблиці 1.1 наведено короткий аналіз переваг і недоліків розглянутих моделей [11].

Таблиця 1.1 – Переваги і недоліки моделей управління мікрокліматом

Назва моделі	Переваги	Недоліки
Класичні диференціальні рівняння теплового балансу будівлі [8, 16, 17]	Наочна розрахункова схема, надійність і точність результатів, можливість коригування розрахункових формул і обліку додаткових чинників (вологість і ін.)	Складність і громіздкість обчислень, необхідність ідентифікації великої кількості параметрів
PMV модель [3, 5, 6, 7, 10, 18, 19, 20]	Використовує велику кількість параметрів. Враховує метаболічний фактор, умова наявності одягу	Не може бути застосована при коливаннях декількох змінних. Основні параметри повинні знаходитися в заданих інтервалах
ET * -DISC і SET моделі [4, 20, 21]	Моделі імітують систему терморегуляції людського організму	Не враховують адаптацію організму, використовують фіксовані фактори
TS, PD, PS моделі [13, 20, 21, 22]	Дозволяють визначити комфортні умови для факторів, що впливають на якість життя в приміщенні	Моделі локального комфорту, невисока точність, складність інтерпретації результатів
Адаптивна модель [15, 22]	Враховує зміни зовнішнього клімату, хороша стійкість	Складність і трудомісткість при реалізації
RC-модель [2, 23, 14, 13, 24]	Простота моделі, система лінійних диференціальних рівнянь дозволяє враховувати взаємозв'язок процесів теплопередачі і вологості	Невисока точність обчислень. Труднощі обліку параметрів зовнішнього середовища (сонячне випромінювання, вітер і т.д.)

Продовження таблиці 1.1

Назва моделі	Переваги	Недоліки
PID управління [25, 26, 15]	Швидкодія, точне утримання заданої температури	Проблема підбору коефіцієнтів моделі, мала точність, трудомісткість налаштування, помилки при великих відхиленнях від номінальних значень параметрів
Управління на основі нечіткої логіки [27, 28, 15]	Висока точність, стійкість, швидкодія, дозволяє управляти нелінійними системами з динамічно змінюються параметрами	Складність настройки і складання бази нечітких правил. Експоненціальне зростання складності обчислень при збільшенні кількості вхідних змінних
Управління на основі штучних нейронних мереж [29, 30, 14, 15]	Обробка великої кількості вхідних даних, надійне прогнозування, не потрібна попередня інформація про будівлю або кліматичної підсистемі	Потрібна велика кількість експериментальних даних для високоякісного прогнозу, тривалість процесу навчання
Нейро-нечіткі системи управління [10, 15]	Управління складними нелінійними динамічними об'єктами і синтез для них нелінійних законів управління	Можна використовувати тільки обмежене число вхідних змінних, тривалий процес навчання
Мультиагентні системи управління [30]	Гнучкість - агенти можуть бути доповнені і модифіковані. Здатність до самовідновлення і стійкість до збоїв	Велика кількість розрізнених агентів робить систему важко керованою
Генетичні алгоритми [29, 14, 31]	Рішення задач оптимізації дуже великої розмірності при відсутності впорядкованості вихідних даних	Труднощі в знаходженні точного глобального оптимуму, тривалий час роботи алгоритму, складність програмного коду

Прогнозувати стан мікроклімату система управління може за допомогою різних моделей, що володіють здатністю до розпізнавання змін параметрів зовнішнього і внутрішнього середовища. Деякі моделі в силу своєї специфіки враховують тільки малу кількість параметрів, які впливають на відчуття комфорту, і їх застосування є вузьконаправленим. Найбільшого поширення через свою гнучкості та комплексності, що враховує безліч параметрів, отримала модель PMV, яка надалі і буде використовуватись.

1.2 Стандарт ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011. Ергономіка теплого середовища.

1.2.1 Огляд стандарту

Теплове відчуття людини в основному пов'язане з тепловим балансом її тіла в цілому. Цей баланс залежить від фізичної активності та одягу, а також параметрів навколишнього середовища: температури повітря, середньої температури випромінювання, швидкості руху і вологості повітря. При оцінюванні або вимірюванні цих факторів можливо передбачити теплове відчуття для організму в цілому шляхом обчислення середньої оцінки (PMV) [8].

Цей стандарт встановлює методи для прогнозування загального теплового відчуття і ступеня дискомфорту (теплова незадоволеність) людей, що піддаються дії помірних термальних середовищ. Це дозволяє провести аналітичне визначення та інтерпретацію теплового комфорту з використанням розрахунків PMV (прогнозована середня оцінка якості теплового середовища) і PPD (прогнозований відсоток незадоволених температурою середовища), а також критеріїв місцевого теплового комфорту й допомагає оцінити прийнятність умов навколишнього середовища для забезпечення теплового комфорту людини [8].

Середня оцінка комфорту – параметр PMV (англ. «Predicted Mean Vote») – це індекс, за допомогою якого прогнозують середнє значення чутливості до температури великої групи людей на підставі балансу температури тіла людини за 7-ми бальною тепловою шкалою відчуттів (таблиця 1.2) [8].

Таблиця 1.2 – 7-ми бальна шкала

Зони теплового комфОРту	PMV (коефіцієнт комфОРту)
Спекотно	+3
Тепло	+2
Трохи тепло	+1
Нейтрально	0
Трохи прохолодно	-1
Прохолодно	-2
Холодно	-3

Розрахунок значень PMV виконують з використанням рівнянь (1)-(4):

$$\begin{aligned}
 PMV = & [0.303 \cdot \exp(-0.036 \cdot M) + 0.028] \\
 & \cdot \{(M - W) - 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6.99 \cdot (M - W) - p_a] - 0.42 \\
 & \cdot [(M - W) - 58.15] - 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0.00014 \cdot M \\
 & \cdot (34 - t_a) - 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \\
 & \cdot (t_{cl} - t_a)\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{cl} = & 35.7 - 0.028 \cdot (M - W) - I_{cl} \\
 & \cdot \{3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\}
 \end{aligned}$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38 f_{cl} \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} & \text{при } 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12.1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{при } 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 \cdot l_{cl} & \text{при } l_{cl} \leq 0.078 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \\ 1.05 + 0.645 \cdot l_{cl} & \text{при } l_{cl} > 0.078 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \end{cases}$$

Де

M – рівень метаболізму, Вт/м² ;

W – ефективна механічна енергія, Вт/м² ;

I_{cl} – коефіцієнт теплоізоляції одягу, м² К/Вт;

f_{cl} – фактор площі ізоляції одягу;

t_a – температура повітря, °С;

\bar{t}_r – середня температура випромінювання, °С;

v_{ar} – відносна швидкість руху повітря, м/с;

p_a – тиск водної пари, Па;

h_c – коефіцієнт конвекційного теплообміну, Вт/(м² К);

t_{cl} – температура поверхні одягу, °С.

Параметри t_{cl} та h_c обчислюються ітераційно.

1 метаболічна одиниця = 1 мет = 58,2 Вт/м²; 1 одиниця одягу = 1 кло = 0,155 м²·°С/Вт [8].

Показник PMV характеризує стабільні умови, але може бути застосованим у якості допустимої апроксимації при незначних коливаннях однієї або декількох змінних за умови, що застосовуються середньозважені за часом значення змінних за попередній період в 1 год [8].

Показник повинен використовуватися тільки для значень індексу PMV в інтервалі між -2 та +2 і коли шість основних параметрів знаходяться в наведених в таблиці 1.3 інтервалах [8].

Таблиця 1.3 – Інтервали параметрів для визначення індексу PMV

Змінна	t_a , °С	\bar{t}_r , °С	v_{ar} , м/с	p_a , Па	I_{cl} , м ² К/Вт	M , Вт/м ²
Мін.	10	10	0	0	0 (0 кло)	46(0.8 мет)
Макс.	30	40	1,0	2700	0.310 (2 кло)	223(4 мет)

Вологість RH у межах 40 ... 60 % розрахована за парціального тиску водяної пари у повітрі p_a , що не перевищує 2700 Па. Одиниця метаболізму: $1 \text{ met} = 58 \text{ Вт/м}^2$. Одиниця теплоізоляції одягу: $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$.

Дослідження з ергономіки теплового середовища свідчать про те, що навіть при ідеально підібраних параметрах довкілля, у якому прогнозована середня оцінка людьми теплового комфорту (параметр PMV, англ. «Predicted Mean Vote») є прийнятною, знайдеться не менше 5% людей, які оцінять його як дискомфортне. Для них уведено показник прогнозованого відсотка незадоволених (англ. PPD – Predicted Percentage Dissatisfied»). Встановлення відсотка незадоволених визначає індекс, що містить інформацію про тепловий дискомфорт або теплове невдоволення відсотка людей, які ймовірно відчують себе занадто тепло або дуже холодно в даному середовищі [8].

PPD можуть бути отримані з PMV, наступним чином:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2)$$

1.2.2 Виправлення неточності в стандарті

Під час аналізу стандарту для визначення меж вхідних та вихідних параметрів, було розглянуто комп'ютерну програму на BASIC, яка надає можливість обчислювати PMV та PPD. В цій програмі пропущена 490 рядок коду (Рис. 1.3). Цього рядка не вистачає в стандарті ISO 7730:2005 та в прийнятих іншими країнами перекладів ГОСТ Р ИСО 7730-2009 та ДСТУ Б EN ISO 7730:2011.

```

440 HL1 = 3.05 * .001 (5733-6.99 * MW-PA)           : heat loss diff. through skin
450 IF MW > 58.15 THEN HL2 = .42 * (MW - 58.15)
460 ELSE HL2 = 0!                                     : heat loss by sweating (comfort)
470 HL3 = 1.7 * .00001 * m * (5867-PA)              : latent respiration heat loss
480 HL4 = .0014 * m * (34 - TA)                      : dry respiration heat loss
490 HL5 = 3.96 * FCL * (XN^4 - (TRA/100^4))          : heat loss by radiation
500 -----CALCULATE PMV AND PPD-----
510 TS = .303 * EXP (-.036 * m) + .028              : thermal sensation trans coeff
520 PMV = TS * (MW - HL1 - HL2 - HL3 - HL4 - HL5 - HL6) : predicted mean vote

```

Рисунок 1.3 – Пропущений рядок в стандарті

Завдяки формулам представленим в стандарті було відновлено цей рядок він повинен був містити наступну інформацію:

$$HL6 = FCL * HC * (TCL - TA)$$

Цю програму було переписано на іншу мову програмування, а саме Python. В стандарті дозволяється використовувати інші мови програмування, але результат має бути верифікований за допомогою програми зі стандарту або за прикладами, наведеними в таблиці, після коду на BASIC.

При порівнянні результатів обчислення індексу PMV у стандарті та Python співпали усі, окрім одного, під номером 7, відображеним у табл. 1.4. Це наштовхнуло на думку, про несправність програми, адже верифікувати не вдалося усі результати. Але це дивно, адже всі інші результати співпадали. Після цього перевірено в ручну та в екселі не співпавший результат. В решті решт, було зрозуміло, що в стандарті наявна ще одна помилка.

Таблиця 1.4 – Порівняння результатів індексу PMV

N п/н	Темп. повітря, °C	Средня темп. випромінення, °C	Швид- кість руху повітря, м/с	Воло- гість, %	Шви- дкість обміну речовин, мет	Ізоляція одягу, кло	PMV в стандарті	PMV Розра- хована
1	22,0	22,0	0,1	60	1,2	0,5	-0,75	-0,752
2	27,0	27,0	0,1	60	1,2	0,5	0,77	0,765
3	27,0	27,0	0,3	60	1,2	0,5	0,44	0,433
4	23,5	25,5	0,1	60	1,2	0,5	-0,01	-0,013
5	23,5	25,5	0,3	60	1,2	0,5	-0,55	-0,55
6	19,0	19,0	0,1	40	1,2	1,0	-0,60	-0,598
7	23,5	23,5	0,1	40	1,2	1,0	0,50*	0,36
8	23,5	23,5	0,3	40	1,2	1,0	0,12	0,121
9	23,0	21,0	0,1	40	1,2	1,0	0,05	0,052
10	23,0	21,0	0,3	40	1,2	1,0	-0,16	-0,166
11	22,0	22,0	0,1	60	1,6	0,5	0,05	0,047
12	27,0	27,0	0,1	60	1,6	0,5	1,17	1,171
13	27,0	27,0	0,3	60	1,6	0,5	0,95	0,95

*не підтверджується розрахунком

1.3 Обґрунтування вибору методів дослідження

В наукових дослідженнях застосовуються методи зображенні на рисунку 1.4 [32]



Рисунок 1.4 – Методи загальнонаукового пізнання

Аналіз – метод дослідження, який включає в себе вивчення предмета дослідження, способу уявного або практичного розчленування його на складові елементи [32].

Синтез – метод вивчення об'єкта в його цілісності, єдності і взаємозв'язку його частин. На практиці необхідно поєднувати синтез з аналізом, оскільки це дає змогу з'єднати об'єкти, розчленовані в процесі аналізу, встановити їхній взаємозв'язок і пізнати предмет як єдине ціле [32].

Індукція – метод дослідження, за якого загальний висновок про ознаки численних елементів об'єкта складають на підставі вивчення лише їх частини, тобто від окремого до загального [32].

Дедукція – досліджує стан об'єкта дослідження в цілому, а потім - за його складовими елементами, тобто висновок складається від загального до окремого [32].

Абстрагування – метод, який дає змогу способом абстракції переходити від конкретних об'єктів до загальних понять і законів розвитку [32].

Конкретизація – всебічне дослідження об'єктів у якісній багатогранності реального існування. Досліджується стан об'єктів у зв'язку з певними умовами існування та їх історичного розвитку [32].

Аналогія – метод наукового дослідження, за яким пізнання одних об'єктів досягається на основі подібності їх до інших. Метод аналогії ґрунтується на подібності деяких сторін різних об'єктів [32].

Моделювання – метод наукового пізнання, який ґрунтується на заміні явища на його аналог, модель, що містить риси оригіналу [32].

Для вирішення завдань даної роботи доцільно використовувати наступні методи досліджень.

Аналіз та синтез. Використання цих методів дає змогу визначити теоретичні основи впливу параметрів теплового комфорту на мікроклімат та виявити основні залежності між параметрами.

Дедукція. Використовується для формування на підставі існуючих теоретичних даних, власної моделі впливу теплових параметрів на мікроклімат.

Моделювання. Це буде основним методом дослідження оскільки присутня розробка математичної моделі, а в подальшому її моделювання засобами сучасних систем проектування та програмування (MATLAB, ModelSim, Quartus, LabVIEW).

1.4 Патентний пошук

Патентів по заданій тематиці знайдено дуже мало, але ось деякі з них.

1) Пошук розпочато на електронному сервісі «Укрпатент». Нажаль патентів по заданій тематиці знайдено дуже мало. Максимально наближеним виявилась корисна модель: Комп'ютерна система контролю і керування мікрокліматом робочого місця.

<http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails>

Область винаходу: Корисна модель відноситься до технічних систем контролю і управління і може використовуватися для контролю і управління мікрокліматом робочого місця, а також доцільне її застосування в оснащенні робочих місць програмістів, оскільки в цьому випадку вже присутній комп'ютер, який є основною складовою частиною системи.

Структура винаходу: Сигнали про значення температури, освітлення та вологості надходять з виходів сенсорів температури, вологості та освітленості відповідно на входи мікроконтролерного інформаційно-вимірювального блоку. Інформація про виміряні фізичні величини, представлена в цифровому вигляді, подається з виходу мікроконтролерного інформаційно-вимірювального блоку на послідовний порт комп'ютера. У комп'ютері за допомогою спеціального програмного забезпечення отримана інформація обробляється і відбувається її аналіз та порівняння з оптимальними значеннями параметрів мікроклімату, які були задані користувачем. На підставі виконаного аналізу та порівняння програма надсилає сигнали управління з паралельного порту комп'ютера через інтерфейс зв'язку в блок управління. До виходів блоку управління підключаються пристрої освітлення робочого місця, обігріву, зволоження, та охолодження повітря. У відповідності з командами управління вказані пристрої можуть працювати в режимі регулювання своєї потужності, або в релейному режимі, і тим самим забезпечувати автоматичне підтримування параметрів мікроклімату на вибраному оптимальному рівні.

В основу корисної моделі поставлена задача створення комп'ютерної системи контролю і управління мікрокліматом робочого місця, в якій за рахунок введення мікроконтролерного інформаційно-вимірювального блоку, сенсора освітлення, та зв'язків між ними і послідовним та паралельними портами комп'ютера, досягається можливість оперативного і суттєво точнішого контролю і управління основними параметрами мікроклімату робочого місця, а також можливість інтегрувати вказану систему в комп'ютеризовану систему управління параметрами зовнішнього середовища на верхньому рівні.

Поставлена задача досягається тим, що в комп'ютерну систему контролю і управління мікрокліматом робочого місця, що містить комп'ютер з програмами контролю та управління, які зберігаються в його пам'яті, блок управління, інтерфейс зв'язку, сенсори температури та вологості, додатково введено мікроконтролерний інформаційно-вимірювальний блок, сенсор освітлення, причому сенсор освітлення зв'язаний з входом мікроконтролерного інформаційно-вимірювального блоку, вихід якого з'єднаний з послідовним портом комп'ютера, паралельний порт комп'ютера з'єднаний з входом блоку управління через інтерфейс зв'язку, а виходи блоку управління призначені для підключення зовнішніх пристроїв освітлення робочого місця, обігріву, охолодження та зволоження повітря.

2) Наступний пошук виконувався на електронному сервісі ESPACENET. Серед усіх запропонованих на аналіз обрано наступний: Система керування мікрокліматом приміщення всередині будинку

<https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=RU>

Область винаходу: Корисна модель відноситься до області регулювання температури і вологості в приміщенні, зокрема для централізованого використання в великих будівлях і спорудах.

Структура винаходу: Система управління складається з блоків - охолоджувача, нагрівача, регульованого вентилятора, що забезпечує подачу повітря, нечіткого контролера, вхід якого з'єднаний з виходом блоку мультиплексування, а вихід з'єднаний з блоками - охолоджувача, нагрівача і

регульованим вентилятором, датчика температури, розташованого в зоні регулювання. Виходи блоків охолоджувача, нагрівача і регульованого вентилятора з'єднані з зоною регулювання і осцилографами. Перемикач блоку охолоджувача перемикач блоку нагрівача призначені для перемикання режимів роботи блоку охолоджувача і блоку нагрівача. Блок мультиплексування з'єднаний з блоком осцилографа. Блок осцилографа з виходом суматора. Входи мультиплексора з'єднані з виходом дифференціатора і виходом суматора. Виходи нечіткого контролера з'єднані з блоками охолодження, регульованого вентилятора і нагрівання.

Система управління мікрокліматом приміщень всередині будівлі, призначена для підвищення або зниження температури всередині будівлі. Система містить датчики температури всередині будівлі, блоки - нагрівач, охолоджувач, регульований вентилятор подачі повітря, а також нечіткий контролер, вхід якого з'єднаний з виходом блоку мультиплексування, а вихід з'єднаний з блоками охолоджувача, нагрівача і вентилятора. Робота нечіткого контролера здійснюється на принципах нечіткої логіки на основі експертних даних по тридцяти шести правилам для кожного виходу і дозволяє регулювати роботу нагрівача, охолоджувача і вентилятора.

Однак дана система дозволяє регулювати клімат тільки всередині будівлі в цілому, не враховуючи мікроклімату в різних приміщеннях, і тільки по одному параметру – температурі, причому до уваги береться пофасадний баланс тепла.

3) Наступний пошук виконувався на електронному сервісі ESPACENET. Серед усіх запропонованих на аналіз обрано наступний: Система керування кліматом всередині будинку

<https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=RU>

Область винаходу: Корисна модель відноситься до області регулювання температури і вологості в приміщенні, зокрема для використання централізовано у великих будинках і спорудах.

Структура винаходу: Система, складається з нагрівача, охолоджувача, зволожувача, вентилятора подачі повітря, нечіткого контролера, вхід нечіткого

контролера з'єднаний з датчиками температури і відносної вологості всередині приміщення, температури і відносної вологості зовні приміщення, а вихід нечіткого контролера з'єднаний з охолоджувачем, зволожувачем, нагрівачем, вентилятором, причому вентилятор виконаний регульованим, а регулювання системою управління кліматом всередині будівлі проводиться по сорока дев'яти правилам для кожного виходу, складених а основі експертних даних.

Робота нечіткого контролера здійснюється на принципах нечіткої логіки на основі експертних даних по сорока дев'яти правилам для кожного виходу і дозволяє регулювати роботу нагрівача, охолоджувача, зволожувача і вентилятора.

В системі управління опаленням, вентиляцією та кондиціонуванням будинку використаний регульований вентилятор, що в комплексі з унікальними банками даних для різних будівель, сприяє більш ефективному проектування опалення, вентиляції та кондиціонування для конкретного об'єкта. При цьому система управління енергопостачанням будівлі набуває ознак штучного інтелекту. За допомогою штучного інтелекту система здатна оцінювати, діагностувати і пропонувати оптимальний режим роботи обладнання. Таким чином, використання керуючих контролерів систем опалення, вентиляції та кондиціонування, побудованих на принципах нечіткої логіки, призводить до значної економії електроенергії

Однак відома система враховує тільки такі параметри, як температура і вологість, не враховує критеріїв таких як фізична активність (рівень метаболізму), термоізоляція одягу та швидкість руху повітря що не дозволяє створити комфортні умови для людей.

4) Наступний пошук виконувався на електронному сервісі USPTO. Серед усіх запропонованих на аналіз обрано наступний: Система контролю температури с термoeлектричним пристроєм.

[http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&u=%2Fmetahtml%2FPTO%2Fsearch-adv.htm&r=30&f=G&l=50&d=PTXT&p=1&S1=\(\(\(\(\(climate+AND+temperature\)+AND+control\)+AND+room\)+AND+comfortable\)&OS=climate+AND+temperature+AND+c](http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&u=%2Fmetahtml%2FPTO%2Fsearch-adv.htm&r=30&f=G&l=50&d=PTXT&p=1&S1=(((((climate+AND+temperature)+AND+control)+AND+room)+AND+comfortable)&OS=climate+AND+temperature+AND+c)

ontrol+AND+room+AND+comfortable&RS=(((((climate+AND+temperature)+AND+control)+AND+room)+AND+comfortable)

Область винаходу: Винахід в цілому відноситься до клімат - контролю, а більш конкретно до контролю температури в транспортних засобах.

Структура винаходу: Пасажирський повітряний канал, виконаний з можливістю доставки повітряного потоку пасажирів до салону транспортного засобу; джерело теплової енергії; загальний пристрій передачі тепла, розташоване в повітряному каналі пасажирів; термоелектричний пристрій; перший контур текучого середовища, виконаний з можливістю циркуляції теплоносія до джерела теплової енергії і термоелектричного пристрою; другий контур текучого середовища, відокремлений від першого контуру рідини, другий контур текучого середовища, виконаний з можливістю циркуляції теплоносія до термоелектричного пристрою і загального теплообмінного пристрою; байпасний контур, виконаний з можливістю циркуляції теплоносія до джерела теплової енергії та загального теплообмінного пристрою в обхід термоелектричного пристрою, причому загальним пристроєм теплопередачі є єдиний теплообмінник в повітряному каналі пасажирів, виконаний з можливістю зв'язку з другим контуром текучого середовища і обхідним контуром для циркуляції охолоджуючої рідини у другому контурі текучого середовища і контуру байпаса.

Деякі розкриті варіанти здійснення стосуються контролю температури в салоні транспортного засобу. Наприклад, контроль температури Система (TCS) може включати в себе повітряний канал, виконаний з можливістю доставки повітряного потоку до салону транспортного засобу. TCS може включати в себе один джерело теплової енергії і пристрій для передачі тепла, підключене до повітряного каналу. Перший контур рідини може циркулювати теплоносієм до джерела теплової енергії і термоелектричного пристрою (ТЕД). Другий контур текучого середовища може циркулювати охолоджуючою рідиною до ТЕД і пристрою для передачі тепла. Обвідний контур може підключати джерело теплової енергії до теплообмінного пристрою. Привід може призвести до вибіркової циркуляції охолоджуючої рідини або в схемі байпаса, або в першому

контурі рідини, і в другому контурі рідини. управління Пристрій може управляти приводом, коли визначено, що джерело теплової енергії готове для подачі тепла на повітряний потік.

Кожен патент в певній мірі відповідає заданому патентному пошуку. Серед запропонованих українських патентів не було знайдено нічого про стандарти прийняті в Європі, Росії та Україні по комфортній температурі, які збираються використовуватися в дипломній роботі. Крім того більшість систем комфорту мікроклімату опираються на датчики та підкоригування однотипного клімату, а це не є системою прийняття рішень за допомогою нейромережі, яка зможе не однотипно робити одне й те саме, а корегувати ті параметри, завдяки яким, комфортний мікроклімат буде підлаштовуватися оптимальніше та швидше для більшого задоволення користувача, бо саме поняття комфортності суб'єктивне.

Висновки по розділу 1.

1. Проведено порівняльний аналіз методів та моделей для реалізації теплового комфорту, серед яких обрано найбільш поширену модель PMV.

2. Проаналізовано стандарт ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011 для визначення меж параметрів моделі теплового комфорту за показниками PPD та PMV.

3. Оскільки, нейронні мережі є визнаним і апробованим інструментом класифікації і ідентифікації станів технічних систем і технологічних процесів, а їх моделі реалізуються, як програмно, так і апаратно, то для досягнення мети даної роботи будуть використані технології саме нейронних мереж.

4. Проведено патентний пошук та аналіз останніх досліджень і публікацій, в результаті чого встановлено, що більшість систему контролю теплового комфорту середовища оцінюють лише температуру та вологість, нехтуючи такими критеріями оцінки як метаболізм та тепло-ізолюваність одягу людини, що є також важливими параметрами. Адже коли мікроклімат підлаштовується під рослини чи продукти, то такі данні не важливі, але для людей нехтування цими критеріями являється помилкою.

Розділ 2. Аналіз технології нейромереж

2.1 Вибір архітектури нейромереж

Нейронна мережа (штучна нейронна мережа) – спосіб організації окремих обчислювальних елементів, які певною мірою імітують структуру мозку.

Характерною особливістю нейронної мережі є здатність до навчання – вміння знаходити залежності між вхідними та вихідними даними, які пропонуються їй в ході навчання. За рахунок закладеного паралелізму нейромережа дозволяє обробляти великі обсяги інформації, а також виконувати завдання, алгоритм вирішення, яких вона опрацьовує сама.

Залежно від типу мережі сигнал може надходити:

- тільки на вхідні нейрони;
- на всі нейрони одночасно;
- передаватися між нейронами різних рівнів (зворотний зв'язок).

Під штучними нейронними мережами прийнято розуміти обчислювальні системи, які мають здібності до самонавчання та поступового підвищення своєї продуктивності.

Біологічний нейрон має тіло, сукупність відростків – дендритів, за якими в нейрон надходять вхідні сигнали, і аксонів, що передають вихідні сигнали нейронів іншим клітинам. Точка з'єднання дендрита і аксона називається синапсом [33]. Синапси (зв'язки між нейронами) володіють різною «вагою», завдяки, якому вибудовується ієрархія надходження в нейрон сигналів.

Основними елементами структури нейронної мережі є [34]:

- штучні нейрони – спрощена модель біологічного нейрона;
- синапс – місце стику виходу одного нейрона і входу іншого, в якому відбувається посилення / ослаблення сигналу;
- сигнал;
- суматор – функціональний блок нейрона, який складає все вхідні параметри помножені на відповідні їм ваги;

- функція активації.

Структуру штучного нейрона зображено на рис. 2.1

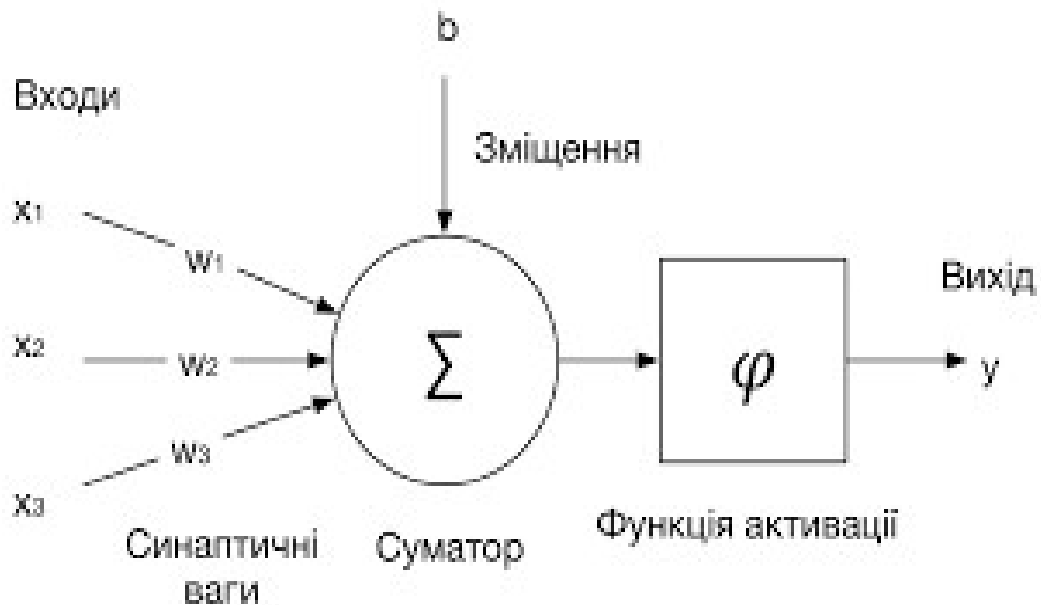


Рисунок 2.1 – Структура штучного нейрона.

W – вектор вагових коефіцієнтів; S – зважена сума; X – вектор вхідних сигналів; φ – функція активації; Y – вихідний вектор.

Синапси здійснюють зв'язок між нейронами і множать вхідний сигнал на число, що характеризує силу зв'язку – вага синапсу. Суматор виконує додавання сигналів, що надходять по синаптичним зв'язкам від інших нейронів і зовнішніх вхідних сигналів. Перетворювач реалізує функцію одного аргументу, виходу суматора, в деяку вихідну величину нейрона. Ця функція називається функцією активації нейрона. Нейрон в цілому реалізує скалярну функцію векторного аргументу. У загальному випадку вхідний сигнал і вагові коефіцієнти можуть приймати дійсні значення. Вихід визначається видом функції активації і може бути як дійсним, так і цілим. Синаптичні зв'язки з позитивною вагою називають збудливими, з негативними вагами – гальмуючими [35].

Нейромережі мають ряд наступних переваг:

1. Адаптивність. Нейронні мережі мають здатність адаптуватися до змін навколишнього середовища. Зокрема, нейронні мережі, навчені працювати в певному приміщенні, можуть бути легко адаптовані для роботи в умовах незначних коливань параметрів мікроклімату. Більш того, для роботи в нестаціонарному середовищі (де статистика змінюється з плином часу) можуть бути створені нейронні мережі, які вміють перенавчатися в реальному часі. Чим вище адаптивні здібності системи, тим більш стійкою буде її робота в нестаціонарному середовищі. При цьому слід зауважити, що адаптивність не завжди веде до стійкості. Іноді вона призводить до абсолютно протилежного результату. Наприклад, адаптивна система з параметрами, які швидко змінюються в часі, може також швидко реагувати і на сторонні збудження, що призведуть до втрат продуктивності. Для того, щоб використовувати всі переваги адаптивності, основні параметри системи повинні бути досить стабільними, щоб можна було не враховувати зовнішні завади, і досить гнучкими, щоб забезпечити реакцію на істотні зміни середовища.

2. Стійкість до шумів вхідних даних. Можливість роботи при наявності великого числа неінформативних, шумових вхідних сигналів. Це призводить до відсутності необхідності робити їх попередній відсів, адже нейронна мережа сама визначить їх малопридатними для вирішення завдання і відкине їх.

3. Рішення задач при невідомих закономірностях. Використовуючи здатність навчання на безлічі прикладів, нейронна мережа здатна вирішувати завдання, в яких невідомі закономірності розвитку ситуації і залежності між вхідними та вихідними даними. Традиційні математичні методи та експертні системи в таких випадках нездатні виконати задачу без певної закономірності.

4. Відмовостійкість при апаратній реалізації нейронної мережі. При несприятливих умовах їх продуктивність падає. Як приклад пошкоджений нейрон або його зв'язок ускладнює витяг збереженої інформації. Однак, беручи до уваги розподілений характер зберігання інформації в нейронній мережі, можна стверджувати, що тільки серйозні пошкодження структури нейронної мережі

істотно вплинуть на її працездатність. Тому зниження якості роботи нейронної мережі відбувається повільно.

5. Нелінійність. Штучні нейрони можуть бути лінійними і нелінійними. Нейронні мережі, побудовані із з'єднань не лінійних нейронів, самі є нелінійними. Більше того, ця нелінійність особливого сорту, так як вона розподілена по мережі. Нелінійність є надзвичайно важливою властивістю, особливо якщо сам фізичний механізм, відповідальний за формування вхідного сигналу, теж є нелінійним (наприклад, людська мова).

Нейронні мережі застосовуються для вирішення таких завдань:

- розпізнавання образів;
- прийняття рішень і керування;
- кластеризація;
- прогнозування;
- апроксимація;
- стиснення даних і асоціативна пам'ять;
- аналіз даних;
- оптимізація.

Для досягнення мети необхідно розбити множини вхідних сигналів на класи, тому розглянемо нейромережі, які використовуються для кластеризації. Після навчання така мережа здатна визначати, до якого класу належить вхідний сигнал. Така мережа може сигналізувати про те, що вхідний сигнал не належить ні до одного з виділених класів – це є ознакою нових, відсутніх в навчальній вибірці, даних.

Серед існуючих нейромереж в даній роботі розглянемо наступні [36]:

- персептрон;
- нейронна мережа Кохонена;
- мережі адаптивного резонансу.

В таблиці 2.1 представлені переваги і недоліки обраних архітектур нейромереж для кластеризації [37].

Проаналізувавши переваги і недоліки обрано архітектуру персептрон завдяки поширеному застосуванню, простій апаратній реалізації та швидкому навчанню. Персептрон є апробованим методом реалізації класифікації.

Таблиця 2.1 – Переваги і недоліки нейромереж для кластеризації

Назва архітектури	Переваги	Недоліки
Мережі адаптивного резонансу	Навчання без «вчителя».	Необмежене збільшення числа нейронів в процесі функціонування мережі. У присутності шуму виникають значні проблеми, пов'язані з неконтрольованим зростанням числа зразків
Нейронна мережа Кохонена	Мережа Кохонена здатна функціонувати в умовах перешкод, так як число кластерів фіксоване, ваги модифікуються повільно, налаштування ваг закінчується після навчання.	Мережа може бути використана для кластерного аналізу тільки в тому випадку, якщо заздалегідь відоме число кластерів.
Персептрон	Примітивні розділяють поверхні (гіперплощини) дають можливість вирішувати лише найпростіші завдання розпізнавання.	Програмні і апаратні реалізації моделі дуже прості. Простий і швидкий алгоритм навчання.

Далі необхідно обрати функцію активації для обраної архітектури нейромережі.

2.2 Вибір функції активації для нейромережі

Функція активації визначає вихідне значення нейрона, в залежності від результату зваженої суми входів і порогового значення. Тепер значення Y (вихідне значення) може бути будь-яким в діапазоні від мінус нескінченності до плюс нескінченності. Насправді нейрон не знає межу, після якої слідує активація. Для цієї мети вирішили додавати активаційну функцію. Саме вона перевіряє вироблене нейроном значення Y на предмет того, чи повинні зовнішні зв'язки розглядати цей нейрон як активований, або його можна ігнорувати. Розглянемо основні функції активації, а саме порогову, лінійну, сигмоїдальну, гіперболічний тангенс та ReLu.

Порогова функція активації. Якщо значення Y більше деякого порогового значення, вважаємо нейрон активованим. В іншому випадку говоримо, що нейрон неактивний. Тобто функція A = активована, якщо $Y > \text{межа}$, інакше немає або інший варіант: $A = 1$, якщо $Y > \text{межа}$, інакше $A = 0$. Наприклад, функція приймає значення 1 (активована), коли $Y > 0$ (межа), і значення 0 (не активована) в іншому випадку (рис. 2.2) [38].

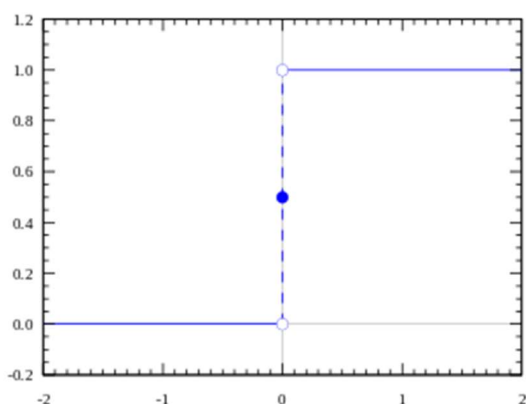


Рисунок 2.2 – Ступінчаста функція активації. $f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0 \\ 1 & \text{при } x \geq 0 \end{cases}$

Лінійна функція активації. Лінійна функція являє собою пряму лінію і пропорційна входу (тобто зваженій сумі на цьому нейроні).

Такий вибір функції активації дозволяє отримувати спектр значень, а не тільки бінарну відповідь. Можна з'єднати декілька нейронів разом і, якщо більше одного нейрона активовано, рішення приймається на основі застосування операції \max (рис. 2.3) [38].

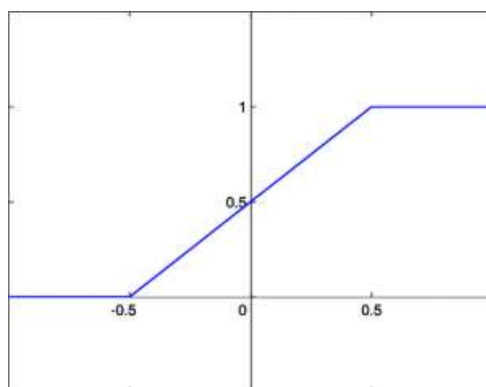


Рисунок 2.3 – Лінійна функція активації $f(x) = c \cdot x$

Сигмоїдна функція активації. Сигмоїдна функція виглядає гладкою і подібна до ступінчастої функції. Перевага такої функції – вона не бінарні, що робить активацію аналоговою, на відміну від ступінчастої функції. Для сигмоїд також характерний гладкий градієнт (рис. 2.4) [38].

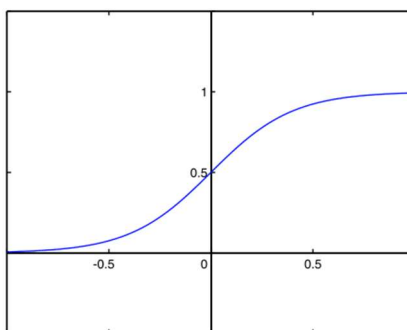


Рисунок 2.4 – Сигмоїдна функція активації $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$

Сьогодні сигмоїда є однією з найбільш частих активаційних функцій в нейромережах. Але і у неї є недоліки, на які варто звернути увагу. При наближенні до кінців сигмоїди значення Y мають тенденцію слабо реагувати на зміни в X . Це означає, що градієнт в таких областях приймає маленькі значення. А це, в свою чергу, призводить до проблем з градієнтом зникнення. Розглянемо докладно, що відбувається при наближенні активаційної функції до майже горизонтальній частині кривої на обох сторонах [38].

В такому випадку значення градієнта мале або зникає (не може зробити істотної зміни через надзвичайно мале значення). Нейромережа відмовляється навчатися далі чи робить це вкрай повільно (в залежності від способу використання або до тих пір, поки градієнт / обчислення не почне страждати від обмежень на значення з плаваючою точкою).

Гіперболічний тангенс. Гіперболічний тангенс дуже схожий на сигмоїду. Тому така функція має ті ж характеристики, що й у сигмоїд. Її природа нелінійна, вона добре підходить для комбінації шарів, а діапазон значень функції в межах до $(-1, 1)$. Тому немає сенсу турбуватися, що активаційна функція перевантажиться від великих значень (рис. 2.5) [38].

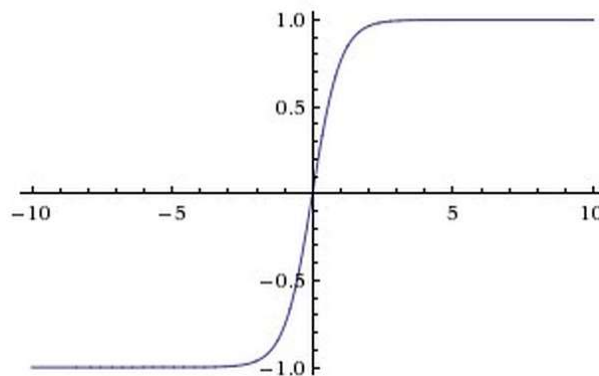


Рисунок 2.5 – Гіперболічний тангенс $f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$

Однак варто зазначити, що градієнт тангенціальної функції більше, ніж у сигмоїд (похідна крутіше). Рішення про те, чи вибрати сигмоїд або тангенс,

залежить від ваших вимог до амплітуди градієнта. Також як і сигмоїд, гіперболічному тангенсу властива проблема зникнення градієнта.

Функція активації ReLu. Користуючись визначенням, стає зрозуміло, що ReLu повертає значення x , якщо x позитивно, і 0 в іншому випадку (рис. 2.6).

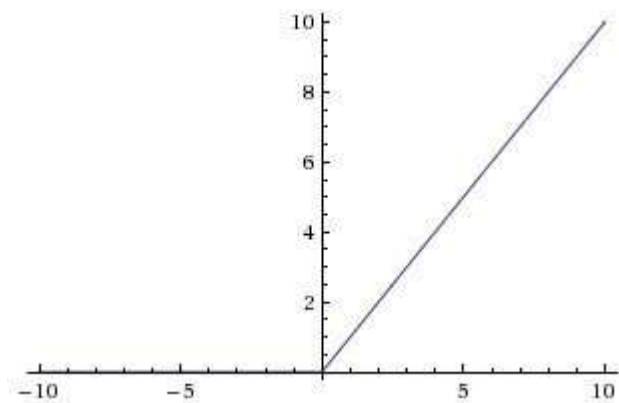


Рисунок 2.6 – Функція активації ReLu $f(x) = \max(0, x)$

Функція ReLu є випрямленою лінійною функцією і на даний момент вважається набагато простішим і ефективним, з точки зору обчислювальної складності, варіантом передавальної функції. Похідна цієї функції дорівнює або 0, або 1, від чого її застосування запобігає розростанню і загасанню градієнтів, і призводить до зменшення ваг, що позитивно позначається на обчислювальній здатності нейромережі [38].

Проаналізувавши функції активації стає зрозуміло що в подальшій роботі необхідно використовувати функцію активації сигмоїду тому що, вона добре показує себе в задачах класифікації, так як апроксимацію класифіційної функції комбінацією сигмоїд можна провести легше, ніж використовуючи, наприклад ReLu.

Існують декілька способів реалізації штучних нейронних мереж, а саме апаратна і програмна. Програмна реалізація, поступає апаратній по швидкості роботи і автономності. Також має декілька очевидних переваг пов'язаних з простотою використання і впровадження в інформаційно-керуючу систему.

До основних переваг апаратної реалізації штучної нейромережі можна віднести швидкість, надійність, безпеку і додаткові режими експлуатації.

Що стосується апаратної реалізації нейронних мереж на FPGA, то вона вигідно відрізняється від реалізації на спеціальних DSP-процесорах (оскільки вони випускаються серійно) та від реалізації на ASIC-мікросхемах (оскільки вони не підлягають переконфігурації). Створення нейромережі на FPGA найбільш точно передає паралельну архітектуру нейронів і надає можливість гнучкого реконфігурування всієї нейронної мережі і її складових – штучних нейронів [39]. При реалізації нейронної мережі на FPGA необхідне розуміння, яку саме роль грає реконфігурування апаратних пристроїв та створення стратегій для ефективного використання апаратних ресурсів програмуємої інтегральної схеми.

Висновки по розділу 2.

1. Проаналізовано поняття нейромережі, визначено її характерні особливості та переваги.

2. Обрано нейромережу для вирішення задачі кластеризації, а саме персептрон, тому що він має переваги, як наприклад простота апаратної реалізації. Обрано функцію активації сигмоїду.

3. Розглянуто апаратну реалізацію, де обрано FPGA, через ряд її переваг.

Розділ 3. Реалізація класифікатору теплового комфорту

3.1 Створення навчаючої вибірки для нейромережі

Оскільки для нейромережі потрібна вибірка вхідних даних, то постала задача її сформування. Для зберігання вибірки було обрано редактор електронних таблиць Excel. Також тут реалізована можливість обміну даними з MATLAB, де і буде проходити подальше навчання нейромережі.

Для формування вибірки, яка повинна міститися у Excel, було обрано мову програмування Python 3 у середовищі PyCharm. В цій мові є дуже велика кількість бібліотек, як наприклад бібліотека для роботи с таблицями Excel – openpyxl [40].

При написанні код було верифіковано та підтверджено його правильну роботу завдяки таблиці зі стандарту ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011. Оскільки нам необхідно 11 рівнів для класифікації, а також вирішено, що по 250 даних на кожен рівень достатньо, то було сформовано таблицю на 2750 векторів. Генерування автоматичного вхідного вектора з параметрами, які знаходяться в заданих стандартом межах, відбувається завдяки `random.uniform` (рис. 3.1.)

```
CLO = random.uniform(0, 2) .. # clo  
MET = random.uniform(0.8, 4) .. # met  
TA = random.uniform(10, 30) .. # ta  
TR = random.uniform(10, 40) .. # tr  
VEL = random.uniform(0, 1) .. # air speed  
RH = random.uniform(0, 100) .. # humidity
```

Рисунок 3.1 – Задання вхідних параметрів в заданих стандартом межах

Далі відбувається обчислення індексу PMV і відповідно в залежності від відповіді записується у відповідний рядок таблиці. Коли місце зайнято, адже для кожного рівня відведено 250 рядків, то параметр ігнорується. Так рахується до тих пір, доки не буде заповнені усі 2750 рядків. Потім було зроблено прорідження ряду до 1100 векторів, щоб на кожен рівень було по 100 векторів.

Код на мові Python для розрахунку і запису даних до вибірки представлено в Додатку А.

3.2 Навчання нейромережі

Для класифікації станів теплового комфорту створено одношаровий персептрон (рис. 3.2). Кількість вхідних нейронів відповідає позиціям вхідного вектору, сформованого головними змінними x_j , що визначають ТК згідно, а кількість вихідних нейронів – прийнятій класифікації. У даній роботі здійснено класифікацію на 11-ти рівнях, яка відображена у таблиці 3.1. Класифікація не розглядається як остаточна, а є базовою. Вона може змінюватись у залежності від суб'єктивних уявлень про тепловий комфорт користувача системи. Він призначає «правильну» реакцію персептрона на вхідний вектор-образ. Тоді синаптичні коефіцієнти персептрону коригуються у процесі перенавчання нейронної мережі [41].

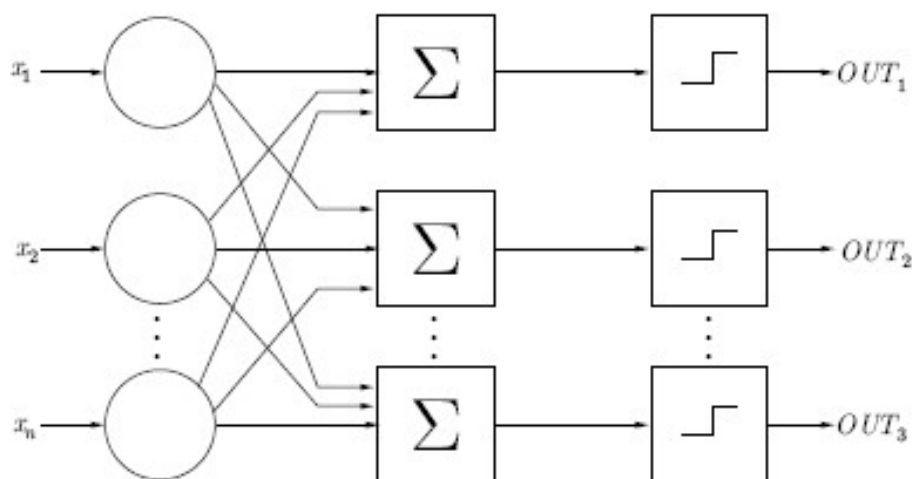


Рисунок 3.2 – Одношаровий персептрон

Навчаючу вибірку з 1100 векторів для нейронної мережі сформовано за рівняннями (1) – (4) [ДСТУ]. Для формування вибірки було обрано мову програмування Python 3. В MATLAB спочатку було імпортовано транспоновану

вибірку вхідних векторів (Input) та класифікації (Target) в робочій простір (Workspace), як зображено на рис. 3.3.

Таблиця 3.1 – Класифікація 11-ти рівнів PMV

Зони теплового комфорту	PMV (коефіцієнт комфорту)
Холодно	-1,5
Помірно холодно	-1
Прохолода	-0,7
Помірна прохолода	-0,5
Комфортна прохолода	-0,2
Комфортний клімат	0
Комфортне тепло	0,2
Помірно тепло	0,5
Тепло	0,7
Помірно гаряче	1
Гаряче	1,5



Рисунок 3.3 – Вікно робочого простору в MATLAB

Для створення персептрона у системі MATLAB за допомогою прикладного пакету програмування NNT спочатку треба з робочого простору імпортувати вхідні дані «Input», та дані цілей «Target» для навчання у відповідні поля наведені відповідно на рис. 3.4 та рис. 3.5

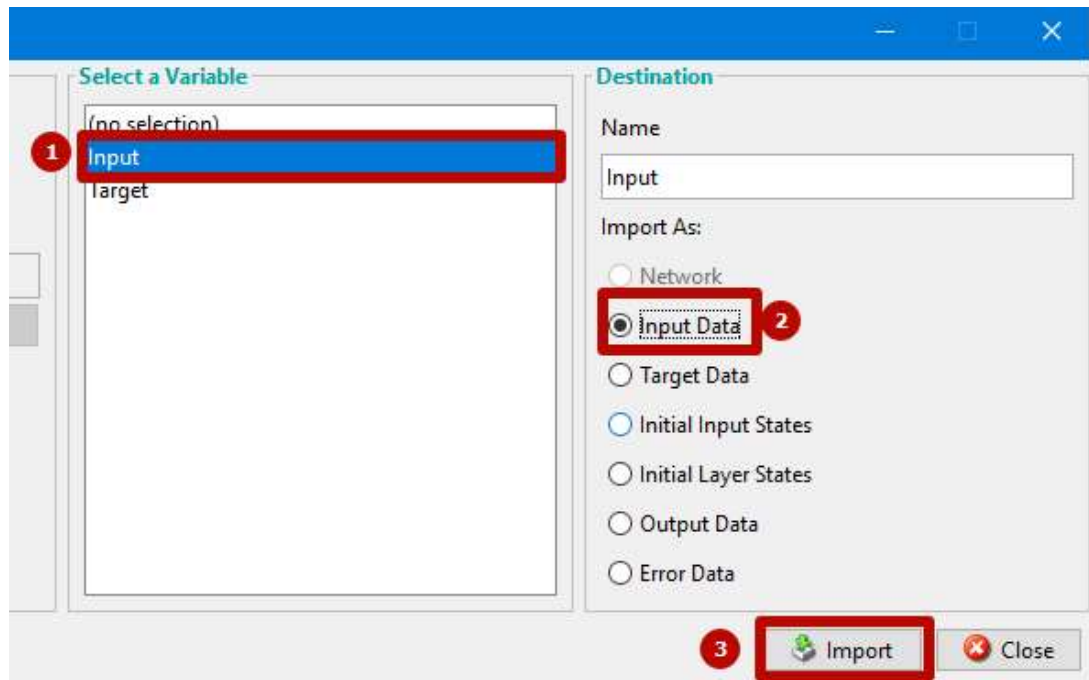


Рисунок 3.4 – Вікно додавання Input до NNTool

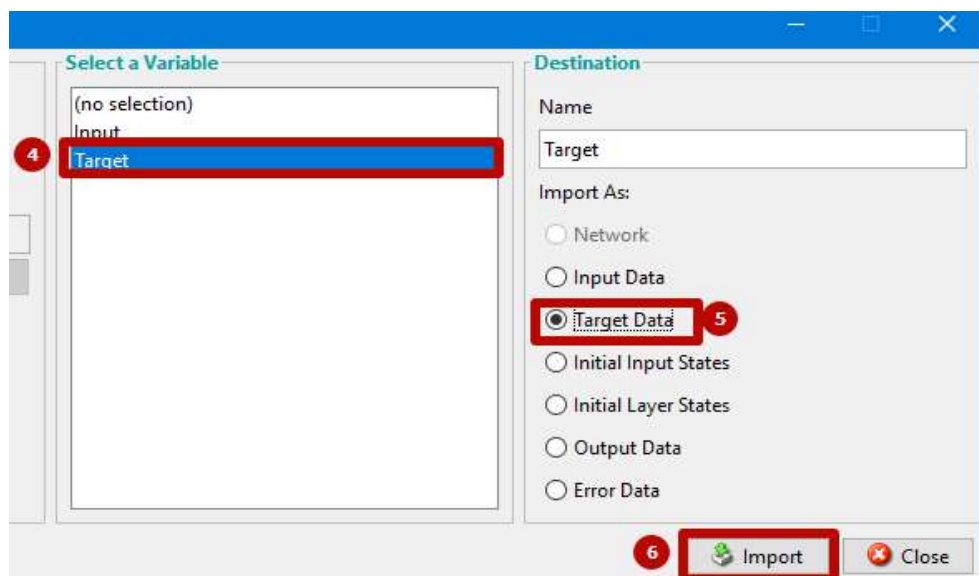


Рисунок 3.5 – Вікно додавання Target до NNTool

Далі в системі NNT відбувається створення персептрону (Рис. 3.6). При створенні персептрону є поля, які ми залишаємо за замовчуванням:

- Transfer function в цій функції можна обрати один з двох параметрів, а саме:
 - Hardlim – функція жорсткого обмеження передачі, на виході персептрону дає 0 або 1.
 - Hardlims – симетрична функція жорсткого обмеження передачі, на виході персептрону дає -1 або 1.
- Learning function в цій функції можна обрати один з двох параметрів, а саме:
 - LEARNP – функція навчання персептрону ваги та зміщення
 - LERRNPN – нормалізована функція навчання та зміщення персептрону.

Наступним вікном відображається структура персептрона, завдяки, якій можна перевірити чи вірно транспоновані матриці аналізуючи кількість вхідних і вихідних параметрів (рис. 3.7).

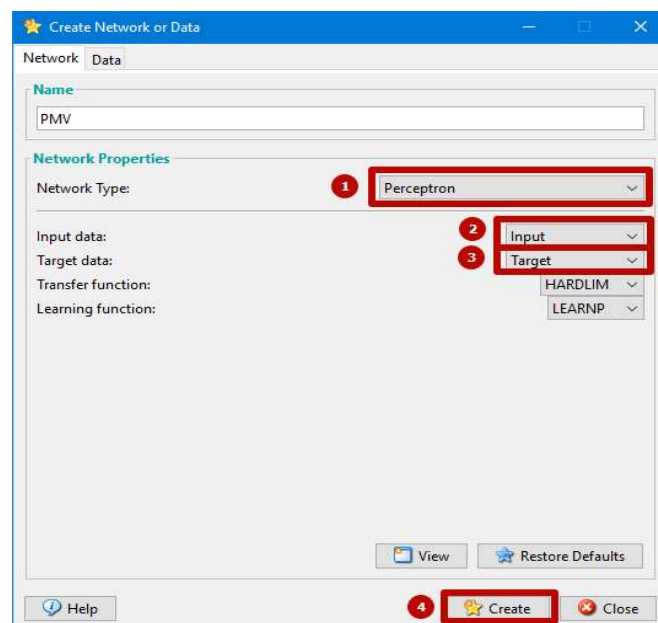


Рисунок 3.6 – Вікно створення персептрону

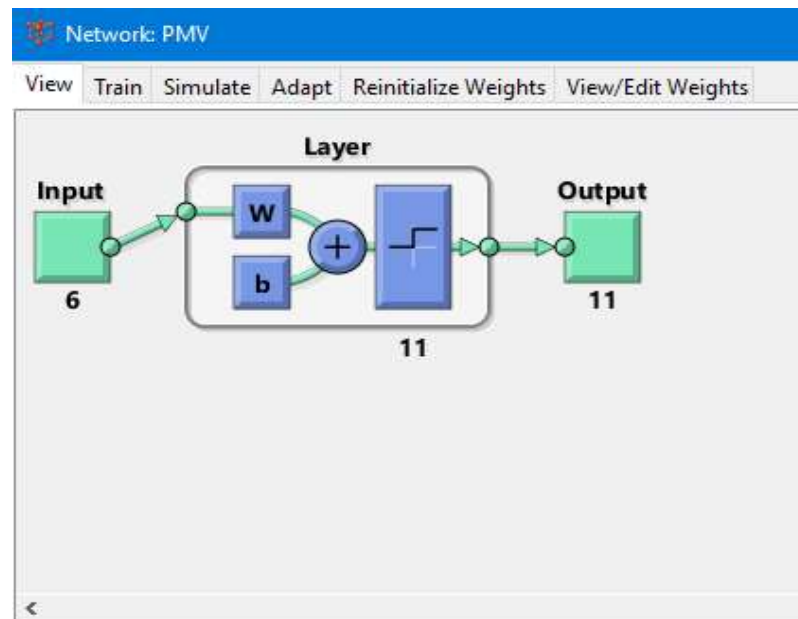


Рисунок 3.7 – Вікно структури створеного перцептрону

При тренуванні перцептрону, треба відкрити вкладочку «Train» виставити вхідні та цільові масиви векторів, та натиснути на клавішу «Train Network» для початку тренування (рис. 3.8).

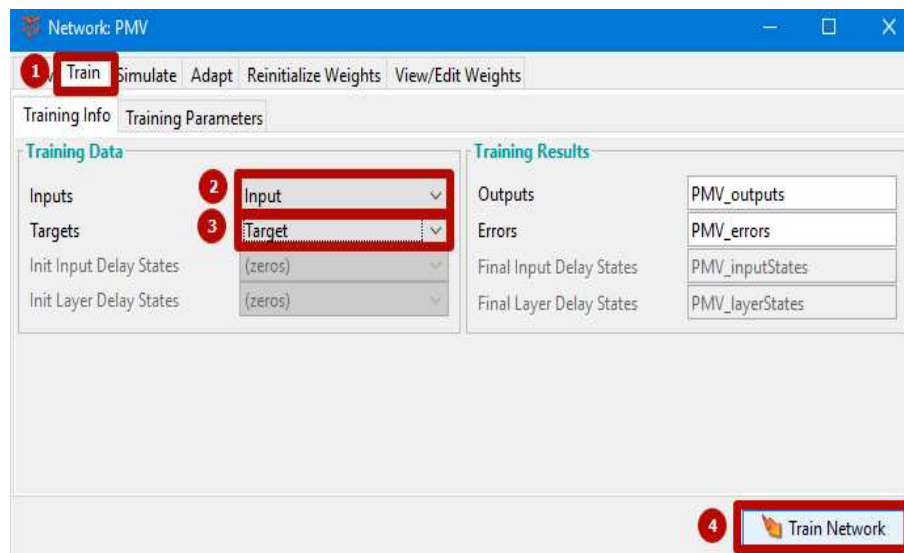


Рисунок 3.8 – Вікно тренування перцептрону

Ефективність (точність) тренування персептрону наведено на рис. 3.9. Де на горизонтальній осі відображено кількість ітерацій, а на вертикальній точність класифікування даних.

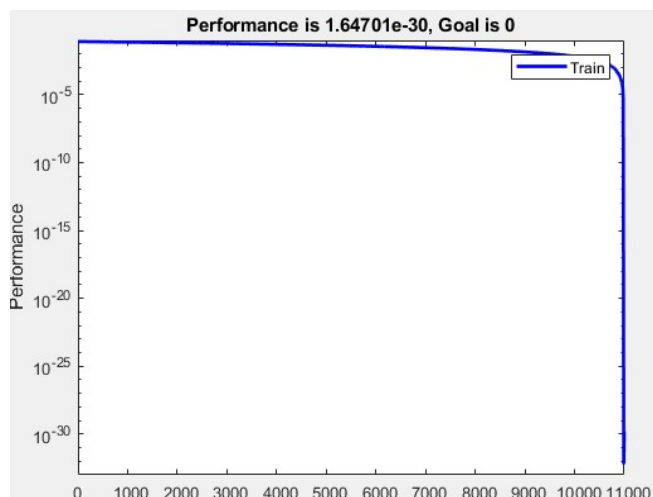


Рисунок 3.9 – Вікно ефективності тренування персептрону

Якщо тренування відбувається правильно підбіраною тренуючою вибіркою, то перевірка на роботоспроможність відбувається вже вибіркою для симулювання. Для симуляцію було зроблено масив, який налічував в собі 11 векторів, які знаходяться в різних рівня класифікації індексу теплового комфорту PMV, та зростають поступово (рис. 3.10).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1.0000	-1.7254e-15	1.4953e-16	-2.2118e-17	-4.6042e-17	3.6357e-16	1.7458e-16	2.8897e-16	1.7403e-17	5.1524e-17	2.8544e-16
2	6.4391e-15	1.0000	4.6310e-17	1.0819e-16	2.2624e-16	2.0441e-16	7.1793e-17	2.5130e-16	-5.2679e-17	2.0314e-16	1.6298e-16
3	1.3630e-14	-8.3393e-16	1.0000	-2.2204e-16	2.2204e-16	-1.2143e-16	-4.1633e-17	-1.7536e-15	2.5674e-16	-9.1519e-17	9.5580e-17
4	4.3278e-15	-2.1301e-16	3.5632e-16	1.0000	1.4418e-16	3.1032e-16	2.9160e-16	1.9380e-16	2.7270e-16	2.8156e-16	2.0834e-16
5	6.1495e-15	4.0684e-16	6.8554e-17	-1.2245e-16	1.0000	8.0253e-16	2.9662e-16	1.5839e-16	1.6246e-16	1.4620e-16	2.0323e-16
6	2.9982e-15	-1.2149e-16	1.8936e-17	3.0608e-17	-1.6498e-17	1.0000	1.5656e-16	-6.3714e-17	-1.1970e-16	4.3954e-17	9.3258e-17
7	6.6158e-15	1.3982e-15	2.5434e-16	2.8176e-16	3.8619e-16	2.0521e-16	1.0000	3.7499e-16	1.2479e-15	-3.1927e-16	1.2556e-16
8	1.6267e-15	2.3540e-16	2.7267e-17	-4.2214e-17	-8.5980e-18	-3.0125e-16	-5.5093e-16	1.0000	5.8866e-17	2.3033e-18	5.3419e-17
9	6.2073e-15	-2.2651e-17	-6.5435e-16	2.0699e-16	1.0862e-16	3.3173e-16	3.9043e-16	1.6452e-16	1.0000	1.4430e-16	1.5096e-16
10	-1.3179e-14	4.7483e-15	1.0082e-15	4.4409e-16	8.8818e-16	-1.0981e-15	-6.2450e-16	3.5452e-15	1.7208e-15	1.0000	1.1136e-15
11	6.8618e-15	4.0712e-16	2.2206e-16	1.7206e-16	2.1684e-16	2.4036e-16	1.7610e-16	2.6537e-16	1.6956e-16	1.3326e-16	1.0000

Рисунок 3.10 – Вихідні дані перевірки роботи тестовою вибіркою

Тобто на виході для підтвердження робочої системи очікується, що значення «1» буде спостерігатися на кожному виході лише раз, також буде переміщуватися нібито по діагоналі. В результаті на інших входах дуже маленькі значення, які слідує до значення «0». Оскільки на виході значення саме такі, як і очікувалося, то можна стверджувати, що персептрон працює.

Синаптичні коефіцієнти навченої нейромережі представлено у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Вагові коефіцієнти

Pi- вень	-1,5	-1,0	-0,7	-0,5	-0,2	0,0	0,2	0,5	0,7	1,0	1,5
w0	-1,47	-1,02	-0,82	-0,585	-0,155	0,045	0,18	0,52	0,61	1,0437	1,483
w1	-0,0005	-0,0006	0,0022	0,0018	-0,0012	-0,0006	0,0001	-0,0004	0,00115	-0,0007	0,00019
w2	0,001	0,0005	0,001	0,0004	0,0001	-0,00065	0,0002	-0,0004	0,0017	-0,0004	0,0002
w3	-0,0333	-0,0018	-0,0275	0,001	-0,003	0,01	-0,01	0,006	-0,02	0,0102	-0,00085
w4	0,00008	0,00005	0,0002	0,00009	-0,00001	-0,00002	0,0001	-0,00002	5E-06	-2E-06	2,5E-05
w5	-0,0135	0,005	0,035	0,014	-0,01	-0,01	0,0045	-0,0007	0,013	-0,0074	0,00172
w6	-0,0226	0,003	0,022	0,02	-0,005	-0,008	0,0055	-0,005	0,009	-0,01	0,0044

За цими коефіцієнтами формують рівняння класифікаційних гіперплощин у просторі станів ТК розмірності $i+1$ з координатними осями $Y, x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_i$.
виду:

$$\sum_{j=0}^6 w_{ij} \cdot x_j = 0,$$

де i – номер класифікаційної площини,

j – номер синапсу.

Класифікаційні площини встановлюють границі кластеру з множиною точок ТК, які належать певному класу. Ядра кластерів можна визначити за допомогою карти Кохонена, яка активується у пакеті NNT. Знання координат ядер важливі для оптимізації переходу від дійсного ТК до бажаного у просторі станів автоматизованої системи керування ТК по оптимальній траєкторії. При цьому

зміна напрямку вектора $X = \{x_{ij}\}$ може відбуватись по-різному. В одному випадку він може бути відразу зорієнтований на координату з максимальним ТК. Альтернативою цьому може стати покроковий перехід від ядра до ядра по всіх суміжних кластерах. Визначальним є енергетична доцільність алгоритму. Її здійснюють на основі аналізу технічних характеристик виконавчих пристроїв автоматичної систему керування ТК.

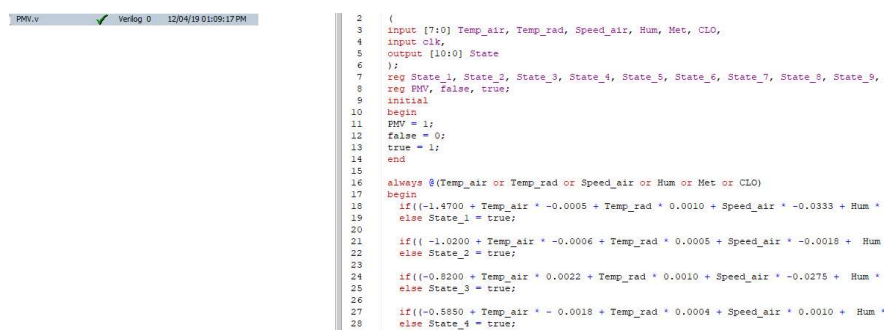
Для формування сигналів команд виконавчим пристроям на зміну їх режимів роботи потрібно створити функцію керування. Її можна представити у вигляді рівняння регресії як функцію, яка моделює зв'язок між PMV та змінними, що визначають PMV [41].

Коефіцієнти поліному може бути знайдено методом найменших квадратів згідно матричного рівняння $B = (X^T X)^{-1} \cdot X^T Y$, де X – матриця умов, Y – матриця результатів. Матриці X та Y утворені векторами навчаючої вибірки перцептрону.

Швидкість зміни PMV як функцію аргументів x_j оцінюють відповідними похідними $\frac{\partial Y}{\partial x_j}$. На підставі отриманих рішень оптимізують процес керування автоматизованою системою підтримки комфортного середовища [41].

3.3 Програмний модуль класифікатора індексу PMV

Розроблено програмний модуль класифікації індексу PMV мовою програмування Verilog у середовищі ModelSim від (Рис. 3.11).



```

1  PMV.v
2  (
3  input [7:0] Temp_air, Temp_rad, Speed_air, Hum, Met, CLO,
4  input ckt,
5  output [10:0] State
6  );
7  reg State_1, State_2, State_3, State_4, State_5, State_6, State_7, State_8, State_9,
8  reg PMV, False, true;
9  initial
10 begin
11 PMV = 1;
12 False = 0;
13 true = 1;
14 end
15
16 always @(Temp_air or Temp_rad or Speed_air or Hum or Met or CLO)
17 begin
18 if((-1.4700 + Temp_air * -0.0005 + Temp_rad * 0.0010 + Speed_air * -0.0333 + Hum *
19 else State_1 = true;
20
21 if((-1.0200 + Temp_air * -0.0006 + Temp_rad * 0.0005 + Speed_air * -0.0018 + Hum
22 else State_2 = true;
23
24 if((-0.8200 + Temp_air * 0.0022 + Temp_rad * 0.0010 + Speed_air * -0.0275 + Hum *
25 else State_3 = true;
26
27 if((-0.5850 + Temp_air * -0.0018 + Temp_rad * 0.0004 + Speed_air * 0.0010 + Hum *
28 else State_4 = true;
29

```

Рисунок 3.11 – Скопільований модуль у ModelSim

Цей модуль створений для апаратної реалізації для FPGA, та в залежності від вхідних параметрів мікроклімату видає відповідний двійковий код класифікації індексу теплового комфорту для керуючих пристроїв, представлений в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вихідний двійковий код в залежності від рівня PMV

	10 Біт	9 Біт	8 Біт	7 Біт	6 Біт	5 Біт	4 Біт	3 Біт	2 Біт	1 Біт	0 Біт
PMV > 1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1.5 > PMV > 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1 > PMV > 0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0.7 > PMV > 0.5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0.5 > PMV > 0.2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0.2 > PMV > -0.2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
-0.2 > PMV > -0.5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
-0.5 > PMV > -0.7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
-0.7 > PMV > -1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
-1 > PMV > -1.5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.5 < PMV	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Також було зроблено модуль для зміни PMV – модуль ChangePMV зображено на рис. 3.12.

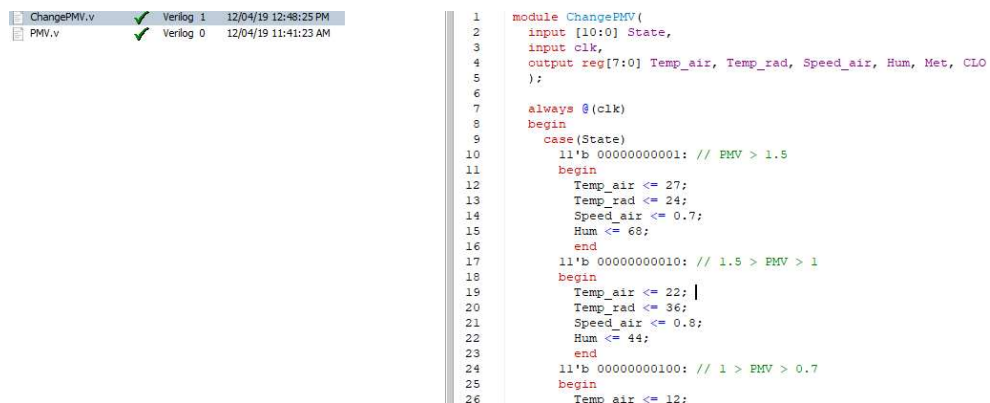


Рисунок 3.12 – Скомпільований модуль ChangePMV

У Quartus з цих модулів було створено та поєднано блоки для класифікації PMV та переходу на інший рівень теплового комфорт (рис. 3.13)

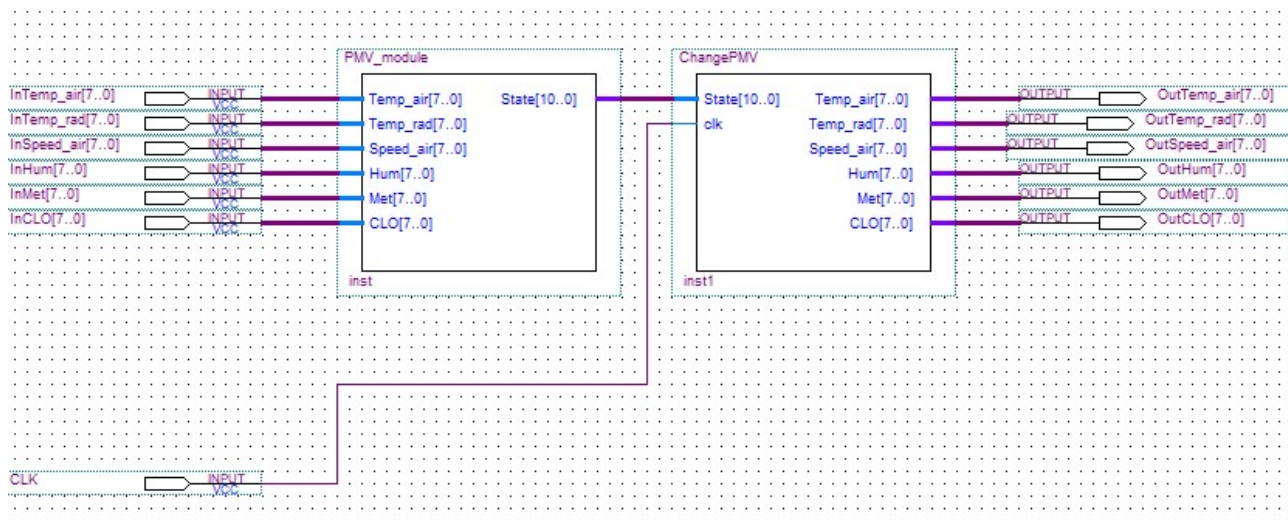


Рисунок 3.13 – Поєднані блоки у середовищі Quartus

При симуляції видно, що спочатку вхідні данні, при позитивному значенні CLK обробилися блоком ChangePMV, та змінили параметри мікроклімату. (рис. 3.14)

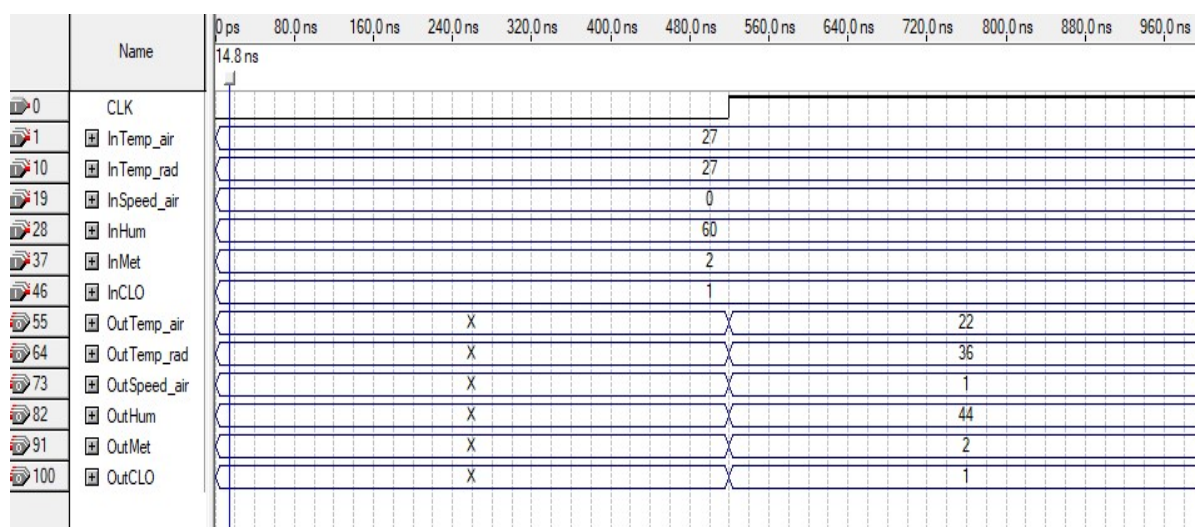


Рисунок 3.14 – Вікно симуляції у Quartus

Таким чином, симуляцією підтверджено роботу пристрою, що дозволяє робити апаратну реалізацію на FPGA.

3.4 Інтерфейс користувача системи «Тепловий комфорт»

Тепер реалізуємо блок класифікації PMV шляхом використання графічного середовища програмування LabVIEW.

Графічні пакети легко освоюються не тільки програмістами – професіоналами, але і користувачами, що не мають досвіду програмування. З одного боку сучасні графічні системи дозволяють створювати програми, практично не поступаються за ефективністю програмам, написаним в текстових пакетах. З іншого боку у більшості випадків графічні програми більш наочні, легше модифікуються і налагоджуються, швидше розробляються. Безсумнівним достоїнством графічних систем програмування є те, що розробником програми може бути сам постановник завдання - інженер, технолог.

Для аналітичного моделювання характерно те, що алгоритм функціонування системи записується у вигляді деяких аналітичних співвідношень (алгебраїчних, інтегро-диференціальних, звичайно - різницевих тощо) або логічних умов. При імітаційному моделюванні алгоритм функціонування системи відтворюється в часі із збереженням логічної структури та послідовності перебігу елементарних явищ, що складають процес. Система LabVIEW включає в себе:

- ядро, що забезпечує працездатність програмних процесів, поділ апаратних ресурсів між процесами;
- компілятор графічного мови програмування «G»;
- інтегровану графічну середовище розробки, виконання та налагодження програм;
- набір бібліотек елементів програмування в LabVIEW, в тому числі бібліотеки графічних елементів призначеного для користувача інтерфейсу, бібліотеки функцій і підпрограм, бібліотеки драйверів,

- бібліотеки програм для організації взаємодії з вимірювально-керуючими апаратними засобами тощо;
- розвинену довідкову систему;
 - великий набір програм-прикладів з можливістю як тематичного, так і алфавітного пошуку.

Структура проекту ТК відображена на рис. 3.15.

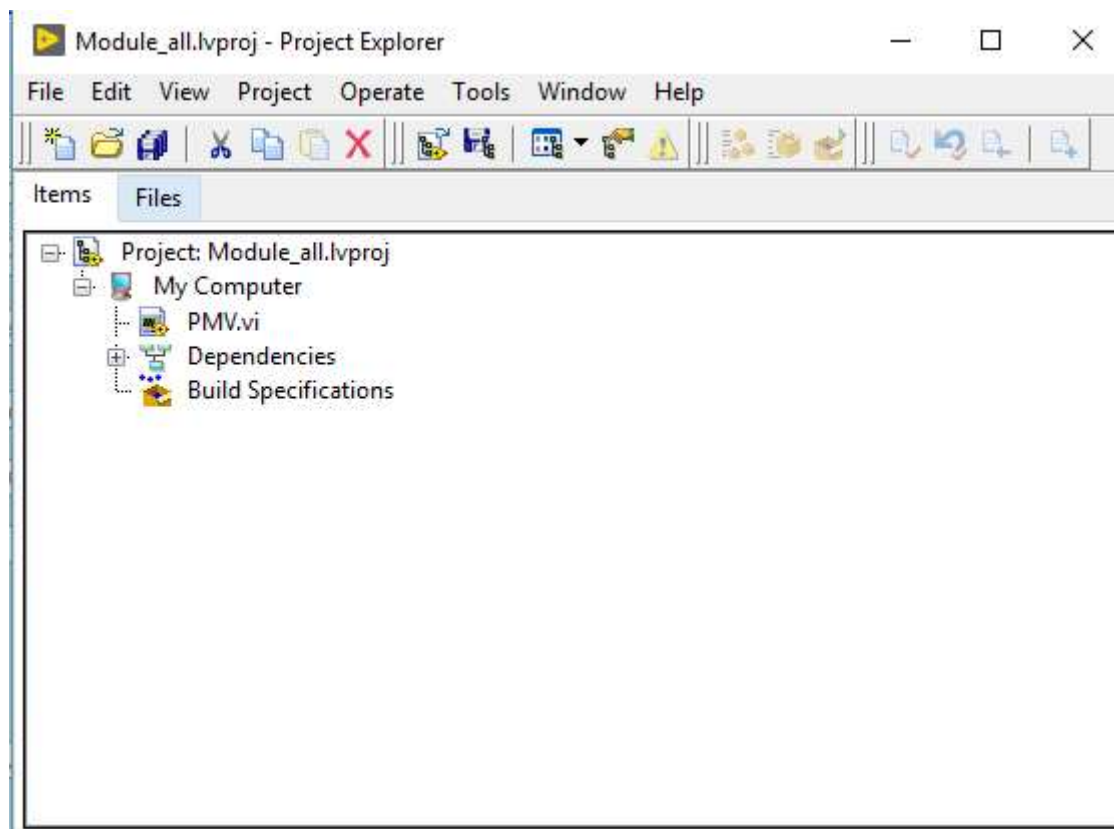


Рисунок 3.15 – Вікно структура проекту в LabVIEW

На рис. 3.16 зображено графічний код роботи блоку класифікації температурного комфорту. Він працює завдяки рівнянням у яких використовуються вагові коефіцієнти (табл. 3.2) отриманні навчанням нейромережі. Тобто вхідні параметри передаються до блоку (Math Script Node), де відбувається обчислення поточних станів системи. Відображення поточного стану демонструється світлодіодами. Як змінюються активізатори стану в залежності

від відповідного індексу PMV відображено в табл. 3.4. Інтерфейс користувача відображено на рис 3.17.

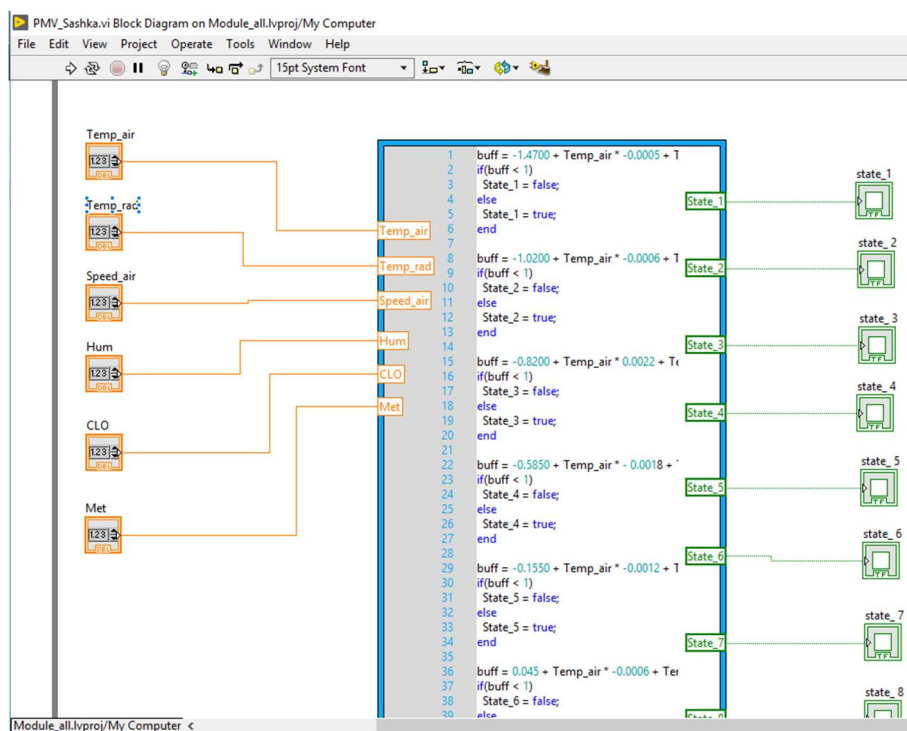


Рисунок 3.16 – Вікно графічного коду у LabVIEW

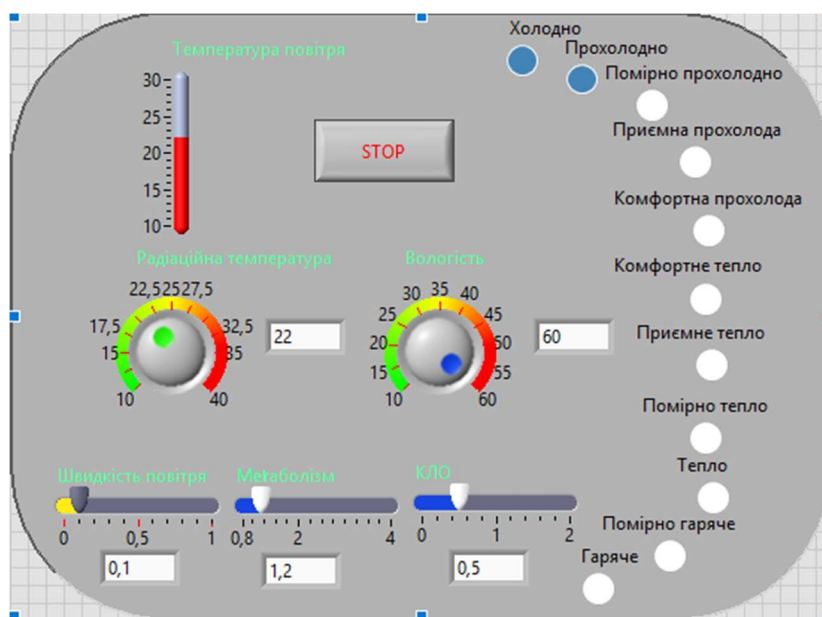


Рисунок 3.17 – Інтерфейс користувача у LabVIEW

З рис 3.17 можна зробити висновок, що інтерфейс інтуїтивно зрозумілий і простий у використанні.

Таблиця 3.4— Інструкція активізації до відповідного PMV

	Гаряче	Помірно гаряче	Тепло	Помірно тепло	Приємно тепло	Комфортне тепло	Комфортна прохолода	Приємна прохолода	Помірно прохолода	Прохолодно	Холодно
PMV > 1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1.5 > PMV > 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1 > PMV > 0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0.7 > PMV > 0.5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0.5 > PMV > 0.2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0.2 > PMV > -0.2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
-0.2 > PMV > -0.5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
-0.5 > PMV > -0.7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
-0.7 > PMV > -1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
-1 > PMV > -1.5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.5 < PMV	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таким чином створено інтерфейс користувача, який дозволяє моніторити роботу системи.

Проаналізувавши виконану роботу в 3-му розділі можна стверджувати, що поставленні завдання вирішені в повному обсязі. Також визначаючи напрямки додаткових досліджень необхідно додати до системи отримання параметрів метаболізму та інформацію про одяг людини завдяки бібліотеці алгоритмів комп'ютерного зору OpenCV.

Висновки по розділу 3.

1. Штучну нейронну мережу розглянуто не тільки як інструмент класифікації станів теплового комфорту, але і як засіб побудови геометричної інтерпретації алгоритму управління виконавчими пристроями з метою досягнення бажаного для користувача стану теплового комфорту.

2. Рівняннями класифікаційних гіперплощин є зважені вагові суми нейронів внутрішнього шару персептрону. Складові цього вектора є змінні, за допомогою яких встановлюють певний рівень теплового комфорту. Орієнтуючись на них, формують команди виконавчим пристроям системи теплового комфорту.

3. Створено блок для класифікації теплового комфорту, а також блок для подачі керуючих сигналів на виконавчі пристрої. Роботу цих блоків підтверджено симуляцією у програмі Quartus.

4. Розроблено інтерфейс користувача модулю теплового комфорту в LabVIEW.

Розділ 4. Розробки стартап-проекту

4.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Автоматизована система прийняття рішень відносно теплового комфорту навколишнього середовища використовується для підвищення рівня комфорту і задоволеності мешканців умовами середовища всередині приміщень.

Така система корисна для якісного проектування мікроклімату житлових приміщень, зон роботи і відпочинку, створення належних умов праці у замкнених просторах на зразок кабін і капсул літальних, надводних і підводних апаратів у сучасних системах зі штучним інтелектом як наприклад «Розумний дім» тощо.

Зміст ідеї реалізації керування теплового комфорту, можливі напрямки застосування, основні переваги, які може отримати користувач системи ілюструють таблиці що наводяться нижче.

В табл. 4.1. наведено основні напрямки використання запропонованої ідеї. Споживачами даної продукції можуть бути як житлові споруди для інтелектуалізації системи «Розумний дім», так і державні установи для побудови системи «Розумне місто».

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Контроль мікроклімату	1. Житлові приміщення.	Інформація не лише про температуру та вологість, але і на одяг та фізичну активність людини
	2. Створення належних умов праці в закритих просторах на зразок кабін і капсул літальних, надводних і підводних апаратів	Краща концентрація на роботі, відсутність порушення спокою через мікрокліматичний дискомфорт

В таблиці 4.2 приведено характеристики ідеї проекту, а саме на які сильні сторони проекту треба більш детально звертати увагу при проведенні рекламної компанії. Також визначення слабких сторін, дозволяє розробити плани по модернізування системи, щоб позбавитися слабких сторін і зробити товар більш конкурентоспроможним. На нейтральні ж сторони в рекламній компанії треба відвести найменшу кількість часу для аудиторії, яка вже користувалась системи контролю мікроклімату, та для аудиторії, яка, можливо, ще не використовувала подібні системи в кратці розповідати ще й про ці критерії. Робити різну рекламу розбиваючи аудиторію на різні сфери, дозволяє отримувати більші показники конверсії продажу, при вірному налаштуванні.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1.	Кількість вхідних параметрів	6	2	2	4			+
2.	Масштабованість	є	немає	є	є		+	
3.	Простота використання	так	так	так	так		+	
5.	Можливість генерування для командних пристроїв	так	ні	так	ні		+	
N						1	2	2

В табл. 4.2. W – сильна сторона, N – нейтральна сторона, S – слабка сторона.

Висновки: у порівнянні за конкурентами товар має перевагу у кількості аналізуючих параметрів, що дозволяє звертати та керувати більш великою кількістю параметрів мікроклімату. Нейтральними сторонами є масштабованість системи, простота використання та можливість генерування для командних пристроїв. Але це є дуже важливі параметри, без них товар буде слабкий в конкуренції. Слабких сторін товару не знайдено.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Технологічний аудит – це процедура, яка дозволяє досліджувати системи з цілю оцінки поточного стану, виявлення способів підвищення ефективності, можливі модернізації, а також повноти, коректності та надійності технічного рішення. Це є важливим етапом не лише стартапів, а також і підприємств, які вже довго працюють, адже завдяки технологічному аудиту виконується оптимізація поточних затрат, прослідкувати чи відповідає продукція сучасним критеріям, розробити більш сучасні критерії оцінки якості та отримати іншу не менш корисну інформацію.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Збільшення кількості вхідних параметрів для більш детального аналізу стану мікроклімату	Обчислення індексу теплового комфорту PMV, за 6-ти параметрами	Наявна	Доступна
2	Зменшення кількості обчислення, яке наявне в стандарті для індексу PMV	Обчислення за допомогою нейромережі	Наявна	Доступна

Продовження табл. 4.3.

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
3	Зменшення кількості не задоволених	Доповнення новими даними вибірку для нейромережі	Наявна	Доступна
4	Використання FPGA платформи	Використання розробленого апаратно-програмного комплексу	Наявна	Доступна
5	Визначення фізичної активності та в що людина одягнена	Використання комп'ютерного зору	Не наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: за основу необхідно взяти перший і третій пункти, так як вони є іноваційними і їх використання дозволить продукту більше виділятися на ринку відносно конкурентів				

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку)	40%

Висновки: проаналізувавши табл. 4.4 можна зазначити, що мала кількість головних гравців на ринку, що свідчить про низьку конкуренцію та високий відсоток рентабельності, що дає можливість досить швидко повернути витрачені гроші. Ще на рентабельність впливає динаміка ринку, яка зростає. Це свідчить про те, що на товар існує попит. Рентабельність в стартапах більше 25% вважається нормальною. Також відсутність специфічних вимог до стандартизації та сертифікації пришвидшує реалізацію товару на ринку, бо не треба витрачати додатковий час та гроші на їх отримання.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Якісне покращення контролю, аналізу і керування мікроклімату.	Державний сектор, приватний сектор.	Використання міжнародного стандарту по класифікації мікроклімату за допомогою індексу PMV. Інтелектуалізація поняття «Розумний будинок» використанням технологію нейромереж.	Надійність, простота у використанні та підключенні. Зрозумілий дизайн та додаток через, який можна моніторити роботу приладу через смартфон, планшет чи ноутбук.

Висновки: формування ринку визначається потребою покращення контролю, аналізу і керування мікроклімату приміщення. Основними споживачами продукту є усі сфери, де є замкнуті приміщення в яких є необхідність в контролі мікроклімату. Тому головними вимогами до товару є надійність та простота використання.

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
	Економічний	Економічний стан країни виробника	Зміна країни виробника
	Якісний	Не належна якість продукції	Зміна технологічних процесів виробництва
	Вартість комплектуючих	Підвищення закупівельної вартості комплектуючих	Пошук нових постачальників
	Конкуренція	Ім'я конкуренції більш відоме на ринку	Пошук більш компетентних спеціалістів по проведенню реклами
	Некомпетентність працівників	Працівники роблять багато помилок при спілкуванні з клієнтом, виробленні продукції і т.д.	Створення в бекофісі відділу якості.
	Немасштабована структура	Не можливість масштабуватись та відкривати нові відділення	Повна зміна структури бекофіса

Висновки: основними факторами загрози є економічний стан та конкуренція. Існуючі товари вже мають певне ім'я, а з ним і популярність на

ринку. Також підвищення податків в країні-виробника може зіграти значну роль у втраті прибутку.

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
	Збільшення попиту	Різне збільшення зацікавленості продукцією	Підвищення виробництва, продавання франшиз
	Кооперація	Переговори з компаніями з великою кількістю клієнтів для реклами продукту з індивідуальною знижкою	Оцінка можливих переваг та ризиків
	Індивідуальне замовлення	Можливість додавання індивідуальні потреби клієнтів	Проведення аналізу замовлення та можливість виконання замовлення по новим домовленостям

Висновки: відбувається зростання клієнтів на ринку, які в свою чергу збільшують попит на запропоновану систему в тому числі. Це призведе до збільшення об'ємів виробництва. Також можливість індивідуальних замовлень збільшить зацікавленість в продукті, оскільки він підлягає певним підкоригуванням.

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - олігополія	Домінування малої кількості фірм	Зниження цін, підвищення функціональності продукту і слідування за новітніми трендами. Проводження рекламної компанії з потижневим аналізом, та покращенням.
2. За рівнем конкурентної боротьби - міжнародна	Виробники із інших держав	Вихід на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою - міжгалузева	Використання в різних галузях	Переміщення вільних капіталів у ті галузі, де висока норма прибутку
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Запропонований товар є одного виду	Орієнтація на клієнта та адаптації до змін ринкових умов
5. За характером конкурентних переваг - нецінова	Основним є якість товару	Постійне покращення продукту, та програмне оновлення для вже існуючих клієнтів, та апаратне за додаткову оплату
6. За інтенсивністю - марочна	Бренд грає велику роль	Проводити рекламу з допомогою іншого відомого бренда, який не є нашим конкурентом.

Висновки: На ринку є конкуренція з в олігополії, тобто на ринку домінує мала кількість фірм. Ринок є міжнародним так як є фірми виробники з інших країн та міжгалузевим, так як системи мікроклімату використовують в різних галузях. Конкуренція за видами товарів є товарно-видова. Також проаналізовано, що за характером конкурентних переваг основним є якість товару, а також, що бренд грає велику роль.

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Tion MagicAir, Wild Wind, ClimaPredict	Samsung, Xiaomi, Apple	RadioMag, Nicom.	Державний, приватний сектор	Кондиціонер, вентилятор
Висновки:	Конкуренція є низькою	Вихід на ринок є відносно простим. Наявні потенційні конкуренти	Постачальники не мають диктувати ціни на ринку	Клієнти можуть диктувати умови через присутність компаній з хорошою репутацією	Існують обмеження по використанню

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Собівартість	Низька собівартість
2	Різноманітність	Різна вартість та наповненість товару для клієнтів з різним заробітком.
3	Більш індивідуальний аналіз	Аналіз фізичного навантаження користувача, та в що він одягнений, а також програмне підстроювання під незадоволених

Висновки: аналіз фізичного навантаження користувача, та в що він одягнений, а також програмне підстроювання під незадоволених є сильною стороною системи. Різноманітність товару для клієнтів з різним заробітком сильна сторона, оскільки система підходить, як для бюджетного сектору так і для бізнес сектору. Також низька собівартість робить систему більш конкурентоспроможною.

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «назва проекту»

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (назва підприємства)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Собівартість	18							+3
2	Різноманітність	18				0			
3	Більш індивідуальний аналіз	20							+3

Висновок: Запропонована система має більший рейтинг відносно головного конкурента. Дана таблиця демонструє основні особливості продукту, які відрізняють його від основного конкурента.

Таблиця 4.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Більш індивідуальний аналіз Собівартість	Слабкі сторони: Немає бренду
Можливості: вихід на міжнародний ринок Збільшення попиту	Загрози: Економічна нестабільність Конкуренція

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Конкурентна	Середня	22 місяців
2	Максимізація власного виграшу (індивідуалізм)	Середня	19 місяців
3	Максимізація спільного виграшу (кооперація)	Висока	14 місяців

Висновки: було обрано кооперацію як альтернативну ринкову поведінку, так як строки реалізації менші, а також присутня найбільша ймовірність отримання ресурсів.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Державний сектор	+	+	Висока	-
	Приватний сектор	+	+	Висока	+
	Житловий сектор	+	+	Висока	+
Які цільові групи обрано: основною характеристикою вибору цільової групи є готовність прийняти споживача прийняти продукт. В даній області приватний та житлові сектори є більш готові, так як не потрібно додаткових дозволів та документів для введення продукту.					

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
	Індивідуалізм	Недиференційов аного маркетингу	Адаптація до вимог ринку	Спеціалізації

Висновки: Вибрано базову стратегію розвитку спеціалізація, так як на ринку присутні сильні гравці. Оскільки спеціалізацією фірм визначається кількістю сегментів, які вони обслуговують. Збільшення кількості сегментів буде відбуватися шляхом зміни параметрів налаштування класифікації і керування мікрокліматом приміщення.

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Буде шукати нових споживачів, а також забирати існуючих у конкурентів	Ні, компанія не буде копіювати характеристики товару конкурента	Виклику лідера

Висновки: Важливий компонент стратегії розвитку – це конкурентна стратегія. Обрано стратегію конкурентної поведінки виклик лідера, оскільки проект має переваги. Під фірмою лідером розуміється фірма, яка вносить найбільший внесок у розвиток базового ринку.

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Надійність	Спеціалізація	Надійна	Висока надійність роботи
	Комфортність	Спеціалізація	Інтелектуальний аналіз підкориговує параметри під незадоволених	Високий комфортність для кожного користувача

Висновки: Вимоги до товару в цільової аудиторії це надійність та комфортність, яка виконується завдяки інтелектуальному аналізу і налаштуванню мікроклімату в приміщенні.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Комфортний мікроклімат	Інтелектуальну систему налаштування мікроклімату	Ціна, надійність, підлаштування під незадоволених, налаштування для будь-яких закритих приміщень, літальних капсул і тд.

Висновки: Завдяки визначенню з ключовими перевагами концепції товару можливе створення відповідної рекламної компанії.

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Інтелектуальна система підтримки та прийняття рішень для теплового комфорту в замкнутому приміщенні		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Кількість параметрів, які аналізується	6	Тх
	2. Вартість	10	Тх
	Якість: ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011		
	Пакування: метод, система, документація користувача та гарантійний талон		
III. Товар із підкріпленням	Марка: назва організації-розробника – DigiFox назва товару – DoComfort		
	До продажу – комплектація, яку вимагає замовник		
	Після продажу – сервіс, гарантія, сервісне обслуговування		
Товар буде захищено від копіювання укладанням юридичних договорів з працівниками, які виробляють. Також патентуванням.			

Висновки: розуміючи перший рівень стає зрозумілим, що в дійсності купує споживач, яка його головна вигода. Завдяки закладеним характеристикам на другому рівні товару роблять його конкурентоспроможним. Також складанням юридичних договорів з працівниками та патентуванням створюється захист від копіювання товару.

Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	3000-15000 у.о.	5000-20000 у.о.	8000-30000 у.о.	3000 – 20000 у.о.

Висновки: обрано середню категорію цін, адже занадто велика чи маленька ціна відлякує споживачів.

Таблиця 4.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Продаж	Повний супровід товару до замовника	Нульового рівня	Безпосередній (прямий)

Висновки: на старті виробництва очікується не великі партії виробництва, тому можна зекономити, та обійтися без посередників, продаючи товар напряму клієнтам. Саме тому було обрано нульовий рівень збуту та пряму систему збуту.

Таблиця 4.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонуван ня	Завдання рекламного повідомлен ня	Концепція рекламного звернення
	Розвиток технологій і можливостей для комфортних житлових та робочих приміщень	Соціальні мережі FaceBook і Instagram. Контекстна реклама.	Надійність, легкість у встановленні та використанні .	Донести можливість поліпшення повсякденн ого життя	Демонстрація вигоди, яку може отримати клієнт, завдяки можливостям даної системи.

Висновки: проаналізувавши комунікаційні канали, якими користуються цільові клієнти було обрано проведення реклами в соціальних мережах, а також контекстну рекламу. Метою даних оголошень є донести усі перспективи та можливості, які отримує користувач такої системи.

4.6 Впровадження стартап-проекту

Сектор економіки – це сукупність кількох елементів національної економіки, яким притаманні деякі спільні галузеві, технологічні, організаційно-правові та інші характеристики. Це дозволяє виокремити їх від інших складових економічної системи і частин народного господарства з теоретичною або прикладною метою [42]. Визначення вірного сектору економіки дозволить адаптувати рішення і отримати більшу рентабельність.

Проаналізувавши сектори економіки обрано наступні:

- Державний сектор. Зараз усі займаються підвищенням ефективності роботи і навчання людей. Оскільки мікроклімат впливає на цей критерій, то правильна рекламна компанія призведе до різкого збільшення попиту.
- Приватний сектор. Люди все більше привертають увагу до комфортного життя та мають бажання, щоб у них вдома було максимально комфортне середовище. Це слідує з підвищеного попиту на кондиціонери та інші подібні замінники інтелектуального аналізу та керування мікрокліматом. Тому при виході товару на ринок буде великий попит.
- Кооперація з існуючими системами «Розумного Будинку». Аналізуючи існуючі системи контролю мікроклімату було виявлено, що подібної системи немає. Тому можна з початку, для того щоб з'явилось певне ім'я у товару і його купували, продавати його разом з існуючими інтелектуальними системами.

Висновки по розділу 4.

1. Розроблено перший етап створення стартап-проекту. Кожна наукова робота повинна знаходити своє місце застосування в реальному житті, тому стартап-проект може бути практичним відображенням даної роботи.

2. Описано зміст ідеї проекту шляхом розгляду напряму застосувань з вигодами для користувачів. Проаналізовано сильні і слабкі сторони для визначення конкурентоспроможності товару.

3. Проведено технічний аудит проекту та визначено технології, котрі використовуватимуться, для виявлення способів підвищення ефективності,

4. Виконано аналіз ринкових можливостей стартап-проекту шляхом отримання характеристик фактору загроз і можливостей. Після обґрунтовано фактори конкурентоспроможності.

5. Визначену базову стратегію конкурентної та маркетингової програми стартап-проекту. Для уникнення провалу потрібно провести потужну рекламну компанію, в якій донести яскраві переваги даного рішення на фоні суттєвих недолік в конкурентів.

Загальні висновки

В дисертаційній роботі створено актуальну та важливу систему підтримки та прийняття рішення теплового комфорту для автоматизованого управління на основі технологій нейронних мереж. Під час виконання дослідження отримано наступні наукові та практичні результати:

1. Проведено порівняльний аналіз методів та моделей для реалізації теплового комфорту, серед яких обрано найбільш поширену – модель PMV. Проаналізовано стандарт ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011 для визначення меж параметрів моделі теплового комфорту за показниками PPD та PMV. Ефективність ТК оцінюють за здатністю забезпечити потрібний режим будь-якому користувачу системи з мінімальними енерговитратами. Дану задачу вирішено застосовуючи технології нейронних мереж. Також було виправлено в стандарті помилку в програмному коді та в таблиці верифікації.

2. Серед підходящих нейромереж для вирішення задачі кластеризації, обрано персептрон, тому що він має переваги у вигляді простоти апаратної реалізації, а також обрано функцію активації сигмоїду.

3. Штучну нейронну мережу розглянуто не тільки як інструмент класифікації станів теплового комфорту, але і як засіб побудови геометричної інтерпретації алгоритму управління виконавчими пристроями з метою досягнення бажаного для користувача стану теплового комфорту. Рівняннями класифікаційних гіперплощин є зважені вагові суми нейронів внутрішнього шару персептрону. Складові цього вектору є змінні, за допомогою яких встановлюється певний рівень теплового комфорту. Орієнтуючись на них, формують команди виконавчим пристроям системи теплового комфорту. Створено блок для класифікації теплового комфорту, блок для подачі керуючих сигналів на виконавчі пристрої. Підтвердження роботи даних блоків продемонстровано симуляцією у програмі Quartus.

4. Розроблено та проаналізовано стартап-проект, який встановив доцільність комерціалізації проекту з використанням моделі підтримки теплового комфорту для автоматичної системи управління на основі технологій нейронних мереж.

5. Результати Магістерської Дисертації використано при підготовці звіту з ініціативної НДР «Автоматизована система управління тепловим комфортом» (науковий керівник к.т.н., доцент Яганов П.О, виконавці Лихошерстов Д.О., Хапченко О.В.).

Наукові та практичні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на VII Міжнародній науково-практичній конференції «Обробка сигналів і негаусівських процесів», присвяченій пам'яті професора Ю.П. Кунченка. Черкаси: ЧДТУ, 2019.

Вищевикладене дозволяє зробити висновок, що завдання на магістерську дисертацію виконане у повному обсязі, а її мета досягнута.

Список використаної літератури

1. The Automation Internet of Things. Automation World [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.automationworld.com/article/technologies/sensors-discrete/automation-internet-things> (дата звернення: 01.02.2019)
2. Prek M. Exergy analysis of thermal comfort / M. Prek. // International Journal of Exergy. – 2004. – V. 1. – P. 303–315.
3. Возняк О. Т. Вплив параметрів внутрішнього мікроклімату приміщення на теплообмін людини / О. Т. Возняк // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Теорія і практика будівництва. – 2010. – № 662. – С. 84–88.
4. Toftum J., Nielsen R. Impact of metabolic rate on human response to air movements during work in cool environments. // International Journal of Industrial Ergonomics. – 1996. – V. 18(4). – P. 307-316.
5. ISO 7730:2005 (E). Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Third edition 2005-11-15.
6. BS EN ISO 7726: 2001. Ergonomics of the thermal environment–Instruments for measuring physical quantities. – [Execute Date 2001/11/6]. - British Standards: 2001. – p. 62 (Adopted International Standard).
7. ГОСТ Р ИСО 7730-2009. Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта. Москва. Дата введения 2010-12-01.
8. ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011. Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту (EN ISO 7730:2011, IDT):– [чинний від 01.07.2013]. – К.: – Мінрегіон України, 2012. – 64
9. Петрова И.Ю., Зарипова В.М., Лежнина Ю.А. Проектирование информационно-измерительных и управляющих систем для

- интеллектуальных зданий. Направления дальнейшего развития // Вестник МГСУ. – 2015. – № 12. – С. 147–160.
10. Collotta M., Messineo A., Nicolosi G. and Pau G. A Dynamic Fuzzy Controller to Meet Thermal Comfort by Using Neural Network Forecasted Parameters as the Input // *Energies*. – 2014. – № 7. – P. 4727–4756; doi:10.3390/en7084727.
11. Карпенко А.В. Петрова И.Ю. Модели управления микроклиматом в помещении
12. Кувшинов Ю.Я. Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – С. 2–27.
13. Низовцев М.И. Расчетно-экспериментальные исследования энергоэффективных элементов ограждающих конструкций и климатического оборудования зданий: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 2009. – 305 с.
14. Kramer R., J. van Schijndel, Schellen H. Simplified thermal and hygric building models: A literature review. *Frontiers of Architectural Research*. – 2012. – № 1(4). – P. 318–325.
15. Perera D.W.U., Pfeiffer C. F., Skeie N.-O. Control of temperature and energy consumption in buildings – A review // *International journal of Energy and Environment*. – 2014. – Vol. 5, Issue 4. – P. 471–484.
16. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – С. 174–175.
17. Luikov A.V. Systems of differential equations of heat and mass transfer in capillary porous bodies // *Int. J. Heat Mass Transfer*. – 1975. – №18. – P.1–14.
18. Устинов В. Микроклимат и качество воздуха в офисных зданиях. Сравнение норм России и ЕС // АВОК № 3 2015 [Электронный ресурс] – Режим доступа http://zvt.abok.ru/upload/pdf_articles/197.pdf (дата обращения 24.04.2016).
19. Fanger P.O., Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering // Danish Technical Press. – 1970. – P. 244.

20. Rabadi N. J., Developing a Software to Predict Thermal Comfort of Humans at Work // Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. – 2011. – Vol. 5. – № 4. – P. 359–368.
21. Andris Auliciems and Steven V. Szokolay // Thermal Comfort, PLEA Notes – 1997. – P. 65.
22. Fountain M., Huizenga C. A thermal sensation prediction software tool for use by the profession // ASHRAE Transactions. – 1997. – Vol. 103, Part 2. – P 130–136.
23. Ferreira A.P., Mose D., Jae C. Oh Thermal Faults Modeling using a RC model with an Application to Web Farms // 19th Euromicro Conference on Real-Time system (ECRTS'07). – 2007. – P. 113–124.
24. Zaripov M., Petrova I., Zaripova V Project of creation of knowledge base on physical and technological effects // IMEKO TC1 Symposium on Education in Measurement and Instrumentation 2002: Challenges of New Technologies Challenges of New Technologies. – 2002. – P. 6.
25. Donaisky E., Oliveira G.H.C. and Mendes N., Realtime implementation of PID-based thermal comfort control algorithms, Proceedings of 19th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2007) November 5–9, 2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.abcm.org.br/anais/cobem/2007/pdf/COBEM2007-2052.pdf> (дата звернения: 08.05.2019)
26. Kishore S. P. Yashwanth, V. Suresh Kumar Real time thermal comfort sensing using a computer aided module // IJARECE. – February 2016. – Vol. 5. issue 2. – P. 412–415.
27. Aparicio P., et al. Control of HVAC system comfort by sampling, Proceedings of International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (ICIEOM 2012). Portugal, Guimarães, July 9–11. – 2012. – P. 10.
28. Gassmann O., Meixner H. Sensors in Intelligent Buildings, Vol. 2 // Wiley-VCH Verlag GmbH, DOI: 10.1002/3527600302. – P. 106–125.

29. Ahmad M.W., Mourshed M., Yuce B., Rezgui Y. Computational intelligence techniques for HVAC systems: A review, BUILD SIMUL (2016) 9: P. 359–398, DOI 10.1007/s12273- 016-0285-4.
30. Dounis A.I., Caraiscos C. Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment: // A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – № 13. – P. 1246–1261.
31. Nabil Nassif, Stanislaw Kajl, Robert Sabourin, Optimization of HVAC Control System Strategy Using Two-Objective Genetic Algorithm // International Journal of HVAC&R Research. – July 2005. – Vol. 11. – № 3. – P. 459–486.
32. Методи загальнонаукового пізнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://pidruchniki.com/1191062853212/buhgalterskiy_oblik_ta_audit/metod_buhgalterskogo_obliku_yogo_elementi (дата звернення: 14.10.2019)
33. Горбань А.Н., Россиев Д.А. Нейронные сети на персональном компьютере. / А.Н. Горбань, Д.А. Россиев – Н.: Наука, 2006. – 276с.
34. Нейромережі [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.poznavayka.org/uk/nauka-i-tehnika-2/neyronni-merezhi-yih-zastosuvannya-robota/> (дата звернення: 19.08.2019)
35. Вибір функція активації [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.monographies.ru/en/book/section?id=2465> (дата звернення: 19.08.2019)
36. Нейромережі [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B5%D1%82%D1%8C#%D0%98%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%82%D0%B8%D0%BF%D1%8B_%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%B9 (дата звернення: 19.08.2019)

- 37.Архітектури неймереж [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://masters.donntu.org/2008/fvti/shakhovaya/library/index8.htm>(дата звернення: 23.08.2019)
- 38.Функція активації неймереж [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/activation-functions/>(дата звернення: 23.08.2019)
- 39.Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей — Вильямс, 2001. — 288 с.
- 40.Бібліотека OpenPyXl [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://openpyxl.readthedocs.io/en/stable/> (дата звернення: 03.05.2019)
41. Хапченко О.В. Автоматизована система підтримки теплового комфорту // Праці VII Міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негаусівських процесів», присвяченої пам'яті професора Ю.П. Кунченка: Тези доповідей. – Черкаси: ЧДТУ, 2019. – С. 61-63.
42. Сектор економіки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80_%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%96%D0%BA%D0%B8 (дата звернення: 03.11.2019)

Додаток А.

Лістинг програми PMVtoExcel.py

```
import math
import random as r
import openpyxl

def fnps(t):
    return float(math.exp(16.6536-4030.183/(t + 235)))

def comfPMV():
    arr = [-2, -1.5, -1.0, -0.7, -0.5, -0.2, 0, 0.2, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0]
    d = []
    counter = []
    end = 0
    for q in range(len(arr)):
        d.append(q * 250 + 1)
        counter.append(0)
    for q in range(len(arr)-1):
        counter.append(0)
    test = 100
    ex = 0
    wb = openpyxl.load_workbook(filename='openpyxl.xlsx') # открити файл
    sheet = wb.get_sheet_by_name('train') # вибрати лист
    while True:
        CLO = r.uniform(0, 2) # clo
        MET = r.uniform(0.8, 4) # met
        WM = 0
        TA = r.uniform(10, 30) # ta
        TR = r.uniform(10, 40) # tr
        VEL = r.uniform(0, 1) # air speed
        RH = r.uniform(0, 100) # humidity

        PA: float = RH * 10.0 * fnps(TA)
        ICL: float = 0.155 * CLO
        M: float = MET * 58.15
        W: float = WM * 58.15
        MW: float = M - W
        if ICL <= 0.078:
            FCL: float = 1 + (1.29 * ICL)
        else:
            FCL: float = 1.05 + (0.645 * ICL)
        HCF: float = 12.1 * math.sqrt(VEL)
        TAA: float = TA + 273
        TRA: float = TR + 273
        TCLA: float = TAA + (35.5 - TA) / (3.5 * ICL + 0.1)
        P1: float = ICL * FCL
        P2: float = P1 * 3.96
        P3: float = P1 * 100
        P4: float = P1 * TAA
```

```

P5: float = (308.7 - 0.028 * MW) + (P2 * math.pow((TRA/100), 4))
XN: float = TCLA / 100
XF: float = XN / 50
EPS: float = 0.00015
N = 0
while abs(XN - XF) > EPS:
    XF: float = (XF + XN) / 2
    HCN: float = 2.38 * pow(abs(100 * XF - TAA), 0.25)
    if HCF > HCN:
        HC: float = HCF
    else:
        HC: float = HCN
    XN: float = (P5 + P4 * HC - P2 * math.pow(XF, 4)) / (100 + P3 * HC)
    N += 1
    if N > 150:
        print("Max iterations exceeded")
TCL: float = 100 * XN - 273
HL1: float = 3.05 * 0.001 * (5733 - (6.99 * MW) - PA)
if MW > 58.15:
    HL2: float = 0.42 * (MW - 58.15)
else:
    HL2: float = 0
HL3: float = 1.7 * 0.00001 * M * (5867 - PA)
HL4: float = 0.0014 * M * (34 - TA)
HL5: float = 3.96 * FCL * (pow(XN, 4) - (pow(TRA / 100, 4)))
HL6: float = FCL * HC * (TCL - TA)
TS: float = 0.303 * math.exp(-0.036 * M) + 0.028
PMV: float = TS * (MW - HL1 - HL2 - HL3 - HL4 - HL5 - HL6)
PPD: float = 100 - 95.0 * math.exp(-0.03353 * pow(PMV, 4.0)) - 0.2179 * pow(PMV,
2.0))
for i in range(len(arr) - 1):
    if PMV >= arr[i] and PMV <= arr[i + 1] and counter[i] < 250:
        sheet.cell(row=d[i]+counter[i], column=1).value = CLO
        sheet.cell(row=d[i]+counter[i], column=2).value = MET
        sheet.cell(row=d[i]+counter[i], column=3).value = TA
        sheet.cell(row=d[i]+counter[i], column=4).value = TR
        sheet.cell(row=d[i]+counter[i], column=5).value = VEL
        sheet.cell(row=d[i]+counter[i], column=6).value = RH
        sheet.cell(row=d[i]+counter[i], column=7).value = PMV
        sheet.cell(row=d[i]+counter[i], column=8).value = PPD
        counter[i] = counter[i] + 1
        end += 1
    if end > 2999:
        wb.save('openpyxl.xlsx') # сохранить данные
        print(counter)
        print(str)
        return False
    ex += 1
    print(ex)
wb.save('openpyxl.xlsx') # сохранить данные
comfPMV()

```

Додаток Б.

РЕЄСТРАЦІЙНА КАРТКА НДР І ДКР (РК)

5436. Державний реєстраційний номер <u>СНДР 004.336</u>	5256. Особливі позначки <u>5</u>
5517. Реєстраційний номер, що змінюється	7209. Статус виконавця <u>17</u>
5418. №, дата супровідного листа <u>36; 14.12.18</u>	
7146. Підстави для проведення роботи НДР (ДКР) <u>43</u>	7021. Шифр роботи
7210. Державний реєстраційний номер НДР (ДКР) головного виконавця	

ВІДОМОСТІ ПРО ВИКОНАВЦЯ

2457. Код за ЄДРПОУ (ідентифікаційний номер) <u>02070921</u>	
2151. Повне найменування юридичної особи (або П.І.Б.) 1. Научно-дослідний інститут електроніки і мікросистемної техніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" 2. Научно-исследовательский институт электроники и микросистемной техники Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского" 3. Research Institute of Electronics and MicroSystem Technics of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"	
2358. Скорочене найменування юридичної особи <u>НДІ ЕМСТ КПІ ім. Ігоря Сікорського</u>	
2655. Місцезнаходження <u>03056, м.Київ - 56, вул. Політехнічна, 17</u>	
2934. Телефон / Факс <u>454 - 93 - 38 / 236 - 96 - 76</u>	
2394. E-mail / WWW	
1332. Відомча підпорядкованість <u>Міністерство освіти і науки України</u>	
1133. Сектор науки <u>ВУЗ</u>	
2142. Співвиконавці	

ВІДОМОСТІ ПРО ЗАМОВНИКА

2458. Код за ЄДРПОУ (Ідентифікаційний номер) <u>02070921</u>	
2152. Повне найменування юридичної особи (або П.І.Б.) <u>Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"</u>	
2656. Місцезнаходження <u>03056, м.Київ, пр.Перемоги 37</u>	
2935. Телефон / Факс <u>236 -62 - 13</u>	
2395. E-mail / WWW	

ДЖЕРЕЛА, НАПРЯМИ ТА ОБСЯГИ ФІНАНСУВАННЯ НДР (ДКР)

7700. КПКВК	
7201. Напрямок фінансування <u>2.2</u>	
7023. Назва ДЦП	
7022. Код ДЦП	

Код джерела фінансування	Загальний обсяг фінансування, тис.грн.	у тому числі за роками				
		200-	200-	20--	20--	20--
<u>4406</u>						

ТЕРМІНИ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

7353. Початок <u>11.18</u>	
7362. Закінчення <u>10.19</u>	

9036. Порядковий №; початок та закінчення етапу; вид звітнього документа з НДР (ДКР); назва етапу
1. 11.18, 10.19, 91, Автоматизована система управління тепловим комфортом

ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО НДР (ДКР)

9027. Назва НДР (ДКР) (1- українською мовою, 2 - російською мовою, 3 - англійською мовою)

1. Автоматизована система управління тепловим комфортом
2. Автоматизированная система управления тепловым комфортом
3. Automated control system for thermal comfort

9126. Мета НДР (ДКР)

Метою роботи є вдосконалення і розробка нових програмно-апаратних засобів автоматизованого прийняття рішень підтримки теплового комфорту та моніторинг ймовірності відмови елементів системи

7199. Пріоритетний напрям 02

7191. Вид НДР (ДКР) 57

9153. Очікувані результати 007 програмно-технологічна документація

9155. Галузь застосування

72.19

9156. Експертний висновок

ЗАКЛЮЧНІ ВІДОМОСТІ

5634. Індекс УДК 621.316.4, 624.01

5616. Коді тематичних рубрик 4.5. 54. 35
64.11

6111. Керівник юридичної особи Татарчук Дмитро Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

6210. Науковий ступінь, вчене звання керівника юридичної особи кандидат технічних наук, доцент

Підпис

6120. Керівник роботи (1 - українською мовою, 2 - російською мовою, 3 - англійською мовою)
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Яганов Петро Олексійович
2. Яганов Пётр Алексеевич
3. Yahanov Petro Oleksiiovych

6228. Науковий ступінь, вчене звання керівника роботи кандидат технічних наук, доцент

Підпис

6141. Відповідальний за підготовку реєстраційних документів

Телефон тел. 093-808-99-32, Лихошерстов Дмитро Олександрович, Хапченко Олександр

Підпис

(прізвище, ім'я, по батькові)

6140. Керівник відділу УкрІНТЕІ

Підпис

(прізвище, ім'я, по батькові)

6142. Реєстратор

Підпис

М.П.

(прізвище, ім'я, по батькові)

Додаток В.

ОБЛІКОВА КАРТКА НДР І ДКР (ОК)

5437. Державний обліковий номер 0219 U 005424
 5436. Державний реєстраційний номер 0118U007336 5256. Особливі позначки 5
 5418. №, дата супровідного листа N85 619 31.10.2019
 9036. Порядковий №; початок етапу; закінчення етапу; вид етапу; назва етапу
1. 11.18. 10.19. 3. Автоматизована система управління тепловим комфортом

5526. Державні облікові номери виконаних етапів роботи

ВІДОМОСТІ ПРО ВИКОНАВЦЯ

2457. Код за ЄДРПОУ (ідентифікаційний номер) 02070921
 2151. Повне найменування юридичної особи (або П.І.Б.)
1. Науково-дослідний інститут електроніки і мікросистемної техніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
2. Научно-исследовательский институт электроники и микросистемной техники Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"
3. Research Institute of Electronics and MicroSystem Technics of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
 2358. Скорочене найменування юридичної особи НДІ ЕМСТ КПІ ім. Ігоря Сікорського
 2655. Місцезнаходження 03056, м.Київ - 56, вул. Політехнічна, 17
 2934. Телефон / Факс 454 - 93 - 38 / 236 - 96 - 76
 2394. E-mail / WWW _____
 1332. Відомча підпорядкованість Міністерство освіти і науки України
 1133. Сектор науки ВУЗ
2142. Співвиконавці

ВІДОМОСТІ ПРО ВЛАСНИКА РЕЗУЛЬТАТІВ НДР (ДКР)

2459. Код за ЄДРПОУ (ідентифікаційний номер) 02070921
 2153. Повне найменування юридичної особи (або П.І.Б.) Науково-дослідний інститут електроніки і мікросистемної техніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
 2360. Скорочене найменування юридичної особи НДІ ЕМСТ КПІ ім. Ігоря Сікорського
 2657. Місцезнаходження 03056, м.Київ - 56, вул. Політехнічна, 17
 2935. Телефон / Факс 454 - 93 - 38 / 236 - 96
 2395. E-mail / WWW _____
 1333. Відомча підпорядкованість Міністерство освіти і науки України
 5518. № юридичного документа, дата видачі _____

ДЖЕРЕЛА, НАПРЯМИ ТА ОБСЯГИ ФІНАНСУВАННЯ НДР (ДКР)

7700. КПКВК	_____
7201. Напрямок фінансування	_____
7023. Назва ДЦП	_____
7022. Код ДЦП	_____

Фактичні обсяги фінансування, тис.грн.

Код джерела фінансування	Обсяг фінансування за звітний етап

ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО НДР (ДКР)

9027. Назва роботи (1- українською мовою, 2 - російською мовою, 3 - англійською мовою)

1. Автоматизована система управління тепловим комфортом
2. Автоматизированная система управления тепловым комфортом
3. Automated control system for thermal comfort

9117. Р е ф е р а т (1- українською мовою, 2 - російською мовою, 3 - англійською мовою)

- 1.
- 2.
3. Проведено порівняльний аналіз моделей для реалізації теплового комфорту, серед яких обрано найбільш поширену модель PMV. Для реалізації класифікації обрано персептрон. Розроблено програмно-апаратні засоби: автоматизована система управління тепловим комфортом та заміни обладнання в графічному середовищі програмування LabVIEW.

5481. Бібліографічний опис (статей, монографій, нормативнo-технічної документації тощо)

5040. Вид звітнього документа	91		
5715. Мова документа	720	5742. Кількість сторінок	50
5743. Кількість електронних носіїв	1	5744. Загальна кількість файлів	4
5535. Умови поширення в Україні	35	5211. Умови передачі зарубіжним країнам	63
5634. Індекс УДК	621.316.4, 624.01		
5616. Коди тематичних рубрик	45, 57, 35, 63, 11		
6111. Керівник юридичної особи	Татарчук Дмитро Дмитрович		

6210. Науковий ступінь, вчене звання керівника юридичної особи (прізвище, ім'я, по батькові)
кандидат технічних наук, доцент
Підпис  М.П.

6120. Керівник роботи (1 - українською мовою, 2 - російською мовою, 3 - англійською мовою) (прізвище, ім'я, по батькові)
1. Яганов Петро Олексійович
2. Яганов Пётр Алексеевич
3. Yahanov Petro Oleksiiowych

6228. Науковий ступінь, вчене звання керівника роботи кандидат технічних наук, доцент
Підпис

6121. Список виконавців

Прізвище, ім'я, по батькові	Посада	Науковий ступінь, вчене звання
Хапченко Олександр Вікторович	студент	бакалавр
Лихошерстов Дмитро Олександрович	студент	бакалавр

6141. Відповідальний за підготовку облікових документів

Телефон тел. 093-808-99-32, Хапченко Олександр Вікторович, Лихошерстов Дмитро Олександрович

Підпис  (прізвище, ім'я, по батькові)
6140. Керівник відділу УкрІНТЕІ 
Підпис (прізвище, ім'я, по батькові)
6142. Реєстратор  11
Підпис (прізвище, ім'я, по батькові)
М.П.

Додаток Г.

ІНФОРМАЦІЙНА КАРТКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ (ІК НТП)

5439. Інвентарний номер ІК НТП 0719U006565

5419. Дата реєстрації 04.11.19

5436. Державний реєстраційний номер НДР (ДКР) 0118U007336

5437. Державний обліковий номер НДР (ДКР) 0719U005424

9027. Назва науково-технічної продукції (1- українською мовою, 2 - російською мовою, 3 - англійською)

1. Автоматизована система управління тепловим комфортом

2. Автоматизированная система управления тепловым комфортом

3. Automated control system for thermal comfort

9153. Вид продукції 007 програмно-технологічна документація

9155. Галузь застосування

72.19

5616. Коді тематичних рубрик за ДР НТІ 45.51.35. 67.11. .

9118. Опис науково-технічної продукції

Проведено порівняльний аналіз моделей для реалізації теплового комфорту, серед яких обрано найбільш поширену модель PMV. Для реалізації класифікації обрано перцептрон. Розроблено програмно-апаратні засоби: автоматизована система управління тепловим комфортом та заміни обладнання в графічному середовищі програмування LabVIEW.

5635. Технічні переваги. Науково-технічний рівень щодо кращих вітчизняних та зарубіжних аналогів (прототипів)

5636. Економічні переваги

1001. Вплив на зовнішнє середовище. Екологічність

7326. Стадія завершеності науково-технічної продукції

3.2

7344. Упровадження науково-технічної продукції 35

5638. Практична реалізація продукції:

- строки впровадження 2019

- виробники продукції КПІ ім. Ігоря Сікорського

- споживачі продукції Населення України

- перспективні ринки Україна

1005. Права інтелектуальної власності

5.6.

1004. Форми та умови передачі продукції

4.9

1006. Бажаний характер співробітництва з інвестором :

6.1	Потрібний обсяг інвестицій, тис.грн.	
6.2	Права, що надаються інвестору після завершення роботи	
6.3	Наявність бізнес-плану (так, ні)	
6.4	Техніко-економічне обґрунтування (так, ні)	
6.5	Потенціальний обсяг продажу, тис.грн.	
6.6	Очікуваний термін окупності (років)	
6.7	Додаткова інформація	

ВІДОМОСТІ ПРО ВЛАСНИКА ПРОДУКЦІЇ

2459. Код за ЄДРПОУ (ідентифікаційний номер)	02070921
2153. Найменування юридичної особи	Науково-дослідний інститут електроніки і мікросистемної техніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
2360. Скорочене найменування юридичної особи	НДІ ЕМСТ КПІ ім. Ігоря Сікорського
2656. Місцезнаходження	03056, м.Київ - 56, вул. Політехнічна, 17
2935. Телефон / Факс	454 - 93 - 38 / 236 - 96 - 76
2395. E-mail / WWW	
1333. Відомча підпорядкованість	Міністерство освіти і науки України
6120. П.І.Б. власника(ків) продукції	
5518. № юридичного документа, дата видачі	

1009. Статус виконавця	
------------------------	--

Керівник юридичної особи

6111. П.І.Б.	Татарчук Дмитро Дмитрович
6210. Науковий ступінь	к.т.н.

Підтверджуємо, що надані відомості не мають обмежень для публікації у відкритому друку.

Керівник юридичної особи


(підпис)

М.П.

Дата заповнення _____ 20 ____ р.

6141. Відповідальний за підготовку інформаційних документів

Телефон тел. 093-808-99-32, Хапченко Олександр Вікторович, Лихошерстов Дмитро

Підпис  (прізвище, ім'я, по батькові)


6140. Керівник відділу УкрІНТЕІ

Підпис


(прізвище, ім'я, по батькові)

6142. Реєстратор

(підпис)

 (прізвище, ім'я, по батькові)

М.П.

Додаток Д.

УДК 621.822

КП

№ держ. реєстрації 0118U007336

Інв. № 02190005427

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»
03056, м.Київ, пр-т Перемоги, 37; тел/факс. +38 (044) 236-30-72

ЗАТВЕРДЖУЮ

Д.Д. Татарчук

2019.10.31

ЗВІТ ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОВИМ КОМФОРТОМ

Керівник НДР
к.т.н., доцент


(підпис)

П.О. Яганов

31.10.2019
(дата)

2019



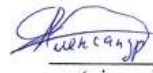
СПИСОК ВИКОНАВЦІВ

Керівник НДР
Канд. техн. наук, доцент


31.10.2019
(підпис)
(дата)


Яганов П.О.

Виконавець


31.10.2019
(підпис)
(дата)

Хапченко О.В.

Виконавець


31.10.2019.
(підпис)
(дата)

Лихошерстов Д.О.

Додаток Е.

Хапченко О.В.

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського
03056 Київ вул. Політехнічна 16, корпус №12, кафедра конструювання
електронно-обчислювальної апаратури 38 044 204 93 63
E-mail: sasha4247@gmail.com

Головними чинниками, які формують об'єктивний тепловий комфорт (ТК), є температура повітря, середня температура випромінювання, швидкість руху повітря, відносна вологість, швидкість обміну речовин та ізоляція одягу. Саме вони покладені в основу об'єктивного визначення ТК, яке було закріплено міжнародною стандартизацією (ISO), національною стандартизацією Росії (ГОСТ) та національною стандартизацією України (ДСТУ).

Метою роботи є метод і модель підтримки теплового комфорту для автоматичної системи управління ТК на основі технологій нейронних мереж (НМ).

Для класифікації станів ТК створено одношаровий персептрон (рисунк 1). Кількість вхідних нейронів відповідає позиціям вхідного вектора, сформованого головними змінними x_j , що визначають ТК згідно [ДСТУ], а кількість вихідних нейронів – прийнятій класифікації. У даній роботі здійснено класифікацію на 12-ти рівнях, яка відображена у таблиці 1. За основу взято прогнозовану середню оцінку (PMV) - це індекс, за допомогою якого прогнозують середнє значення чутливості до температури великої групи людей на підставі балансу температури тіла людини (таблиця 1).

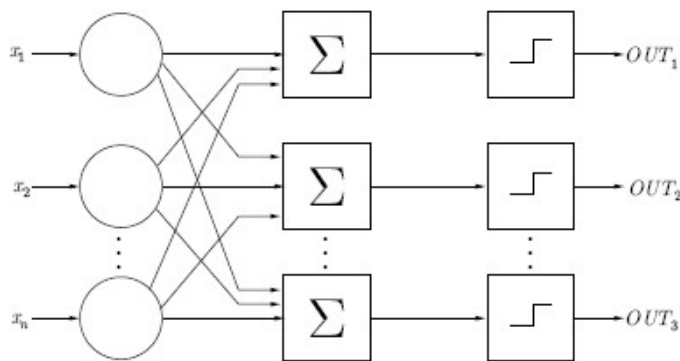


Рисунок 1. Одношаровий персептрон

Таблиця 1

	Зони комфорту	теплого PMV (коефіцієнт комфорту)
1	Дуже холодно	-2
2	Холодно	-1,5
3	Помірно холодно	-1
4	Прохолода	-0,7
5	Помірна прохолода	-0,5
6	Комфортна прохолода	-0,2
7	Комфортне тепло	0,2
8	Помірно тепло	0,5
9	Тепло	0,7
10	Помірно гаряче	1
11	Гаряче	1,5
12	Спекотно	2

Навчаючу вибірку з 3000 векторів для НМ сформовано за рівняннями (1) – (4) [ДСТУ]. Персептрон створено у системі МАТЛАБ за допомогою пакету прикладного програмування NNT, також отримані синаптичні коефіцієнти w_{ij} . За цими коефіцієнтами формують рівняння класифікаційних гіперплощин у просторі станів ТК розмірності $i + 1$ з координатними осями $Y, x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_i$.

виду:

$$\sum_{j=0}^6 w_{ij} \cdot x_j = 0,$$

де i – номер класифікаційної площини, j – номер синапсу.

Якість класифікації оцінена за логістичним класифікатором виду (рисунки 2):

$$p_i = \frac{1}{1 + e^{-Y_i}},$$

де p_i – логістична функція, яка встановлює ймовірність правильної класифікації i -го стану ТК,

$$Y_i = \sum_{j=0}^6 w_{ij} \cdot x_j - \text{рівняння } i\text{-ї класифікаційної площини,}$$

де x_j – предиктори логістичної функції, в якості яких виступають головні змінні вхідного вектора.

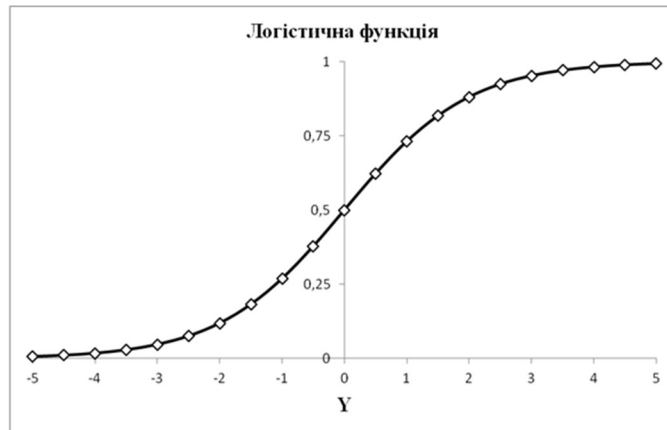


Рис. 2. Логістична функція $p = \frac{1}{1 + e^{-Y}}$

Ймовірність правильної класифікації ТК знаходилась у межах 0,97 ... 1,0.

Для формування сигналів команд виконавчим пристроєм на зміну їх режимів роботи потрібно створити функцію керування. Її можна представити у вигляді рівняння регресії як функцію, яка моделює зв'язок між PMV та змінними, що визначають PMV. У цій роботі це рівняння представлено поліномом четвертого ступеня як суперпозиція окремих одночленів, складених із добутків головних змінних з різними степенями:

$$x_m^\alpha \cdot x_n^\beta, \text{ де } m \neq n = 1, 2, \dots, 6; \alpha, \beta - \text{показники степеня (від 0 до 6).}$$

Поліном налічує 105 одночленів.

Коефіцієнти поліному знайдено методом найменших квадратів згідно матричного рівняння $B = (X^T X)^{-1} \cdot X^T Y$, де X – матриця умов, Y – матриця результатів. Матриці X та Y утворені векторами навчаючої вибірки персептрону. Отримана модель має дисперсію не вище 0,01 що свідчить про високу точність апроксимації.

Швидкість зміни PMV як функцію аргументів x_j оцінюють відповідними похідними $\frac{\partial Y}{\partial x_j}$. На підставі отриманих рішень оптимізують процес керування автоматизованою системою підтримки комфортного середовища.


Список використаної літератури

1. ДСТУ Б EN ISO 7730:2011 Ергономіка теплого середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту. – Чинний з 01.01.2013 – Київ: Держспоживстандарт України, 2012.
2. А.Б. Сулин, Т.В. Рябова, А.К. Рубцов, А.А. Никитин Індекси теплового комфорту: Учбово-методичний посібник. Санкт-Петербург: Університет ИТМО, 2016.

Додаток Ж.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. директора НДІ ПЕ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»


Д.Д. Татарчук
(підпис) (ініціали, прізвище)
«11» грудня 2019 р.

А К Т

використання результатів магістерської дисертації
студента групи ДК-81МП КЕОА ФЕЛ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»
Хапченка Олександра Вікторович
на тему «Система прийняття рішень для забезпечення теплового
комфорту» в ініціативній НДР № ФЕЛ-168

Даний акт складено про те, що результати магістерської дисертації «Система прийняття рішень для забезпечення теплового комфорту» студента групи ДК-81МП кафедри КЕОА ФЕЛ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» Хапченка Олександра Вікторовича використанні при виконанні ініціативної НДР «Автоматизована система управління тепловим комфортом», що виконується НДІ ПЕ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» (Договір № ФЕЛ-168 від 01.11.2018 р., № Держреєстрації 0118U005424)

Керівник НДР
к.т.н., доцент кафедри КЕОА


(підпис)

П.О. Яганов
(ініціали, прізвище)